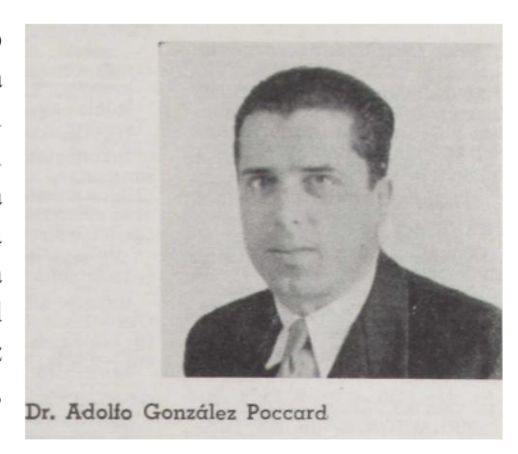


Trabajos del Dr. Adolfo González Poccard

Adolfo Ramón González Poccard fue un destacado científico y funcionario argentino, con distinguida actuación en Obras Sanitarias de la Nación. Nació el 31 de agosto de 1902 como hijo del español Manuel González Morlán y de la capillense Elisa Florentina Poccard Olivera. De su matrimonio con la porteña Catalina Rosa Varese Bianchi, concertista de piano, a través de sus dos hijos, proceden los González Poccard Varese, Gross González Poccard, Alegre González Poccard, Pancelli Alegre, Mangudo Escalada Alegre, los condes Keglevich de Buzin, etcétera.


Dr. Adolfo González Poccard

Estudió en el Colegio Lasalle y en la Universidad de Buenos Aires, recibiendo su título de Doctor en Química en 1929. Hacia 1926 comenzó a trabajar en Obras Sanitarias de la Nación, desempeñándose en su Dirección de Investigaciones Técnicas, en su Inspección General de Laboratorios, y siendo nombrado director de Laboratorios de Obras Sanitarias de la Nación a partir del 1 de julio de 1958.

Los trabajos científicos publicados por el Dr. González Poccard fueron reconocidos por sus pares en los años de su publicación, y citados en diversas investigaciones académicos con posterioridad. Gracias a la colaboración del equipo de la Biblioteca Ing. Agustín González, a quienes mucho agradecemos, hemos logrado rescatar gran parte de su obra escrita, que se comparte en este documento.

Se incluye en el presente compendio las siguientes obras del Dr. Adolfo González Poccard:

- Bengolea, Daniel J.; González Poccard, A.; Trelles, R. A., *Un nuevo procedimiento de coagulación en el tratamiento de las aguas (coagulación fraccionada)*. En: *Boletín de Obras Sanitarias de la Nación*, Año II, N°17, 1938, Buenos Aires. Páginas 511-520.
- Auderut Barbeito, Arturo L.; Bacigalupi, Jorge; Bengolea, Daniel J.; González Poccard, Adolfo, *Coagulación con inyección fraccionada*. En: *Boletín de Obras Sanitarias*, Año 2, N°18, 1938, Buenos Aires. Páginas 597-609.
- Bengolea, Daniel J.; González Poccard, Adolfo, *Potenciómetro a válvula termoiónica para potenciometría en general y determinaciones de pH con electrodos de alta y baja resistencia*. En: *Boletín de Obras Sanitarias de la Nación*, Año IV, N°36, 1940, Buenos Aires. Páginas 604-612.
- González Poccard, Adolfo, *Purificación del agua de consumo destinada a la Ciudad de Buenos Aires*. En: *Boletín de Obras Sanitarias de la Nación*, Año IV, N°40, 1940, Buenos Aires. Páginas 359-364.
- Bengolea, Daniel J.; González Poccard, Adolfo, *La coagulación ideada por el Dr. Trelles*. En: *Boletín de Obras Sanitarias de la Nación*, Año II, N°10, 1938, Buenos Aires. Páginas 394-402.

El Dr. González Poccard fue asimismo autor del siguiente trabajo, cuya copia no poseemos:

- González Poccard, Adolfo, *Un año de ensayos de coagulación con el agua del Río de la Plata*. En: *Boletín de Obras Sanitarias de la Nación*, Año III, N°26, 1939, Buenos Aires. Páginas 130-131.

COAGULACION CON INYECCION FRACCIONADA

por los Ingenieros

JORGE BACIGALUPI y ARTURO L. AUDERUT BARBEITO

y los Doctores

DANIEL J. BENGOLEA y ADOLFO GONZALEZ POCCARD

(De la Dirección Técnica Capital Federal, O. S. N.)

En el N° 16 del BOLETÍN, el doctor Atilio A. Bado publicó un artículo consignando las reservas que a su juicio correspondía oponer a los resultados de los ensayos preliminares de coagulación del agua del Río de la Plata con inyección fraccionada de sulfato de aluminio, que se vienen realizando en el Distrito Establecimiento de Aguas de Palermo.

En nuestro carácter de profesionales a cargo de dichos ensayos, cumplimos con el deber de demostrar, en el presente trabajo, que tales reservas se basan en apreciaciones erróneas sobre los mismos.

A título preliminar, creemos necesario establecer que:

1° Todos los antecedentes publicados en el BOLETÍN DE OBRAS SANITARIAS DE LA NACIÓN, respecto a la coagulación con inyección fraccionada, han sido de carácter eminentemente informativo.

2° En ninguno de los referidos artículos se han formulado conclusiones.

3° Todos los ensayos realizados hasta el presente en escala natural, solo han tenido carácter previo y de simple orientación.

Un estudio experimental cualquiera, requiere como mínimo, cumplir tres etapas bien definidas a saber:

a) Estudios en escala reducida o ensayos de laboratorio.

b) Estudios o ensayos preliminares o de orientación en escala natural, para determinar los factores de la planta, los que deberán necesariamente ajustarse, modificarse, etc., para llegar a la realización de los ensayos definitivos.

c) Estudios finales o definitivos en escala natural ajustados a las necesidades del problema que se desea investigar.

Hasta el momento en que el Dr. Bado formuló sus reparos, no habíamos realizado en forma completa sino los estudios de la primera etapa o sea los ensayos de laboratorio; estando apenas en comienzo la segunda etapa de ensayos preliminares, respecto de los cuales sólo existe un primer ensayo de orientación, de manera que no puede darse el carácter de conclusiones a las informaciones publicadas sobre estudios no terminados, en los que todavía hay mucho que hacer.

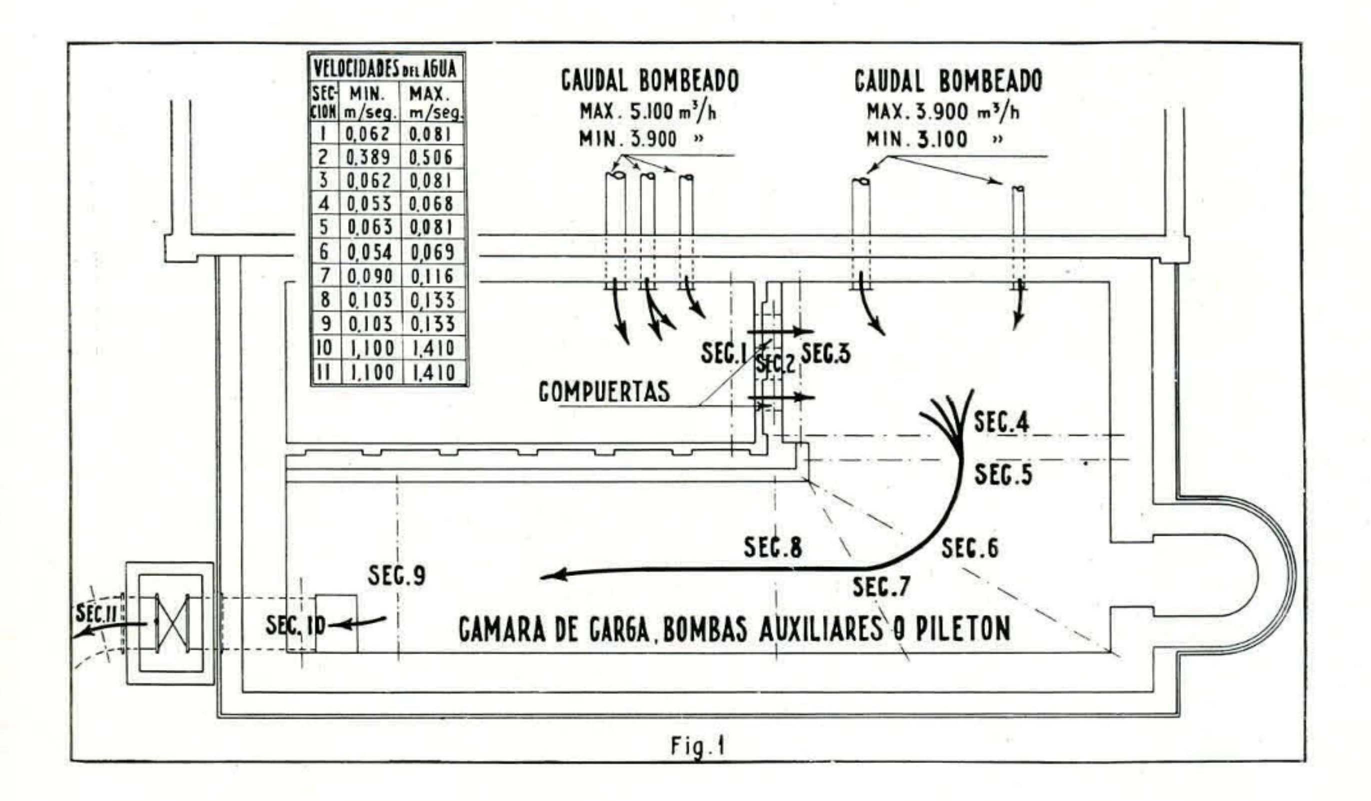
Todo estudio experimental, requiere un plan previo de investigación, plan que en el caso comentado se ha elaborado con el cuidado y detalle requerido, y que seguiremos paso a paso, durante todo el tiempo que sea necesario, para que se puedan obtener conclusiones definitivas sobre el tratamiento de aguas tan variables en su composición como las del Río de la Plata.

En el expediente 35.337-DT-938 de Obras Sanitarias de la Nación, constan las fechas en las cuales se solicitó y se obtuvo la autorización necesaria para continuar los ensayos preliminares, que solamente se interrumpieron para realizar los que solicitara el Dr. Bado.

Analizaremos para mayor claridad de nuestra exposición en el orden en que han sido expuestas, las razones que han permitido al Dr. Bado sostener "a priori" que las experiencias realizadas por nosotros no pueden conducir a conclusión alguna:

"RAZÓN Nº 1. — La velocidad promedio del agua en los dos conductos correspondientes a las bombas elevadoras principales y a las auxiliares, es muy diferente, siendo además constante en el conducto secundario (de 1,500 m.) y variable en el conducto principal. Un cálculo para caudales de agua comprendidos entre 32.000 y 42.000 m³/h. (bombas principales) y entre 7.000 y 9.000 m³/h. (bombas auxiliares), según datos de caudales suministrados por el Jefe del Establecimiento Palermo, permite establecer las velocidades respecti-

Tampoco puede afirmarse que en el conducto auxiliar, la velocidad sea constante y en el principal variable. En ambos varía a partir de la primera derivación a los decantadores que sirven, existiendo en el conducto auxiliar cambios bruscos en la velocidad del agua, puesto que a su salida de la cámara de carga o piletón donde mantiene velocidades de 0,13 m/seg. (máx.) a 0,10 m/seg. (mín.) asume en el conducto de 1.500 mm. de diámetro, velocidades de 1,41 m/seg. (máx.) y 1,10 m/seg. (mín.) En cambio las ve-



VELOCIDADES DEL AGUA		
SECCION	MIN. m/seg.	MAX. m/seg.
1	0,062	0,081
2	0,389	0,506
3	0,062	0,081
4	0,053	0,068
5	0,063	0,081
6	0,054	0,069
7	0,090	0,116
8	0,103	0,133
9	0,103	0,133
10	1,100	1,410
11	1,100	1,410

Fig. 1

vas del agua en los diferentes tramos de los conductos, como se indica en el cuadro Nº 1".

Los promedios de las velocidades del agua en ambos conductos, efectivamente no son iguales; pero tampoco pueden considerarse muy diferentes, ya que los datos que se consignan en el citado cuadro Nº 1, arrojarían para los caudales mínimos considerados (32.000 m³/h. y 7.000 m³/h.) una velocidad media de 0,83 m/seg. para el conducto principal y de 1,13 m/seg. para el conducto de las bombas auxiliares.

Entre esas dos velocidades, si alguna fuera dañosa para la integridad del coágulo que viaja con el agua, no cabe duda que sería la segunda, puesto que es mayor de 1,00 m/seg., límite peligroso según sostienen muchos autores extranjeros.

locidades en las cámaras de carga del conducto principal son de 0,26 m/seg. (máx.) a 0,20 m/seg. (mín.) y en el respectivo conducto, de 1,15 m/seg. (máx.) a 0,87 m/seg. (mín.).

Todas estas diferencias y cambios de velocidades a nuestro juicio, carecen de importancia del punto de vista de la coagulación, porque en el caso del agua del Río de la Plata, los coágulos resisten muy bien las contingencias hidráulicas referidas; pero queda establecido:

1º Que la velocidad promedio del agua en el conducto principal de alimentación de los decantadores, no es muy diferente de la velocidad promedio del agua en el conducto auxiliar de esa alimentación.

2º Que la velocidad en el conducto auxiliar, sólo es constante en la parte sin servicio en ruta, a igualdad de lo que sucede en el conducto principal, siendo el agua que conduce el primero la que experimenta más bruscos cambios de velocidad.

"RAZÓN Nº 2. — Esta diversa velocidad en los tramos del conducto de las bombas elevadoras principales, produce remolinos en los diversos puntos de salida del agua de aquellos, en perjuicio probablemente de la integridad del coágulo, y ya se sabe con qué dificultad éste se vuelve a constituir, una vez desintegrado".

"RAZÓN Nº 3. — El recorrido de las aguas coaguladas de las bombas elevadoras principales y de las bombas elevadoras auxiliares, se hace en cañerías cerradas, recorriendo la primera casi doble camino que la segunda para alcanzar ambas los decantadores respectivos Nos. 3 y Nos. 1 y 2, modificándose sucesivamente la velocidad para el agua del decantador final Nº 3, como hemos visto".

"RAZÓN Nº 4. — Para establecer la eficiencia relativa de los dos tratamientos se han comparado los resultados obtenidos en los decantadores 1 y 2, con los obtenidos en el decantador Nº 3, que es el que soporta el máximo de las desventajas de las variaciones de velocidad y de los remolinos".

Es, en efecto, una creencia ampliamente generalizada en el extranjero, que el coágulo formado, una vez roto se reconstruye con suma dificultad, así que el agua queda en peores condiciones de las que presentaba antes de la expresada rotura, pero ya hace algún tiempo, que en el pequeño laboratorio de los encargados de la dosificación del Establecimiento Palermo, se empezó a dudar de que dicha creencia fuera aplicable al agua del Río de la Plata, pues numerosas muestras de agua con coágulos ya decantados en vasos de precipitación y desechos con fuerte agitación, mostraron que los mismos se reconstruían en todos los casos con suma facilidad, sin perjudicar en nada la clarificación del agua ensayada.

Para verificar si el fenómeno se cumplía en escala natural, se han alimentado todos los decantadores del Establecimiento, exclusivamente con agua proveniente de las bombas elevadoras principales, dejando así fuera de servicio el "piletón". En esta forma todos los decantadores tuvieron como alimentación única la del conducto de 3,60 m. de diámetro, seguido por el tramo de 2,10 m. de diámetro y finalmente por el tramo de 1,50 m. de diámetro para los decantadores Nos. 1 y 2.

En estas condiciones, de ser cierta dicha creencia, los remolinos producidos por las distintas velocidades del *agua, en los diferentes tramos*, habrían perjudicado la integridad del coágulo y éste se habría reconstruído con dificultad, perjudicando el mayor recorrido del agua coagulada en el conducto de velocidad variable, a los decantadores más alejados Nos. 1 y 2, los cuales deberían haber producido un agua decantada de peor calidad que la del decantador Nº 21.

En el primer ensayo realizado, cuya duración fué de una semana, se compararon los decantadores Nos. 21 (el primero), 3 (el último sobre el conducto de 2,10 m. de diámetro y el 1 (el último de todos o sea el más alejado) los cuales previamente se habían colocado a permanencias iguales. Se probó prácticamente y en escala natural lo que se había advertido en los vasos de precipitación, es decir, que el coágulo no se rompe o se recompone como si no se hubiera roto, pues el agua decantada no presentó diferencias apreciables; pero si alguna diferencia debiera mencionarse, ella sería la de que fué precisamente el decantador Nº 1 o sea el más alejado, el que presentó siempre agua de menor turbiedad.

Ante estas primeras comprobaciones se repitieron nuevamente los ensayos por quince días más, manteniendo el control en esta nueva comparación para los decantadores Nos. 21 y 1 (primero y último), sustituyendo el Nº 3 por el Nº 5 sobre el mismo conducto de 2,10 m. de diámetro y agregado además el Nº 17, servido por el tramo de 3,60 m. de diámetro.

Estos nuevos ensayos dieron, como puede verse en los datos que transcribimos, idénticos resultados que los anteriores, es decir que el decantador que pudiera considerarse que presenta alguna ventaja es el Nº 1, en el cual se decantó el agua coagulada que ha tenido que sufrir la influencia de más remolinos, más cambios de velocidad y que ha tenido además mayor recorrido en el conducto de alimentación de los decantadores.

RESULTADO DEL ENSAYO Nº 1

OBSERVACIONES: Las muestras de agua se tomaron con 3 horas de intervalo con la de agua natural que corresponde exactamente a la permanencia con que trabajaban los decantadores.

Día y hora	Dosis de coagulante p.p.m.	ALCALINIDAD p.p.m. Agua natural	ALCALINIDAD Agua decantada en decantador Nº 1	Nº 3	Nº 21	pH. Agua decantada en decantador Nº 1	Nº 3	Nº 21	TURBIEDAD p.p.m. Agua decantada en decantador Nº 1	Nº 3	Nº 21
25-X-38 4	70	64	24	25	28	6,4	6,3	6,5	1,5	1,5	1,5
5	70	65	25	25	29	6,3	6,3	6,5	1,5	1,5	2,—
6	70	68	26	26	30	6,3	6,3	6,4	1,5	1,5	1,5
7	70	63	26	24	28	6,4	6,3	6,5	2,—	2,—	2,—
8	65	50	22	21	25	6,3	6,2	6,4	1,5	2,—	2,—
9	65	54	21	21	21	6,3	6,3	6,3	1,5	1,5	1,5
10	65	54	23	23	23	6,2	6,2	6,2	1,5	1,5	1,5
11	65	54	21	21	24	6,2	6,2	6,3	1,5	1,5	1,5
12	65	54	22	21	21	6,2	6,3	6,2	1,5	2,5	1,5
13	65	55	23	25	26	6,3	6,3	6,3	1,5	1,5	1,5
14	65	52	24	25	31	6,3	6,3	6,5	1,5	1,5	1,5
15	75	64	29	29	28	6,3	6,3	6,2	1,—	1,—	1,5
16	75	62	28	28	28	6,3	6,3	6,2	1,—	1,—	1,5
17	75	62	27	27	26	6,3	6,3	6,2	1,—	1,—	1,5
18	75	60	24	23	25	6,2	6,2	6,2	1,5	1,5	1,—
Promedios	64,33	58,60	24,33	24,37	24,87	6,29	6,27	6,32	1,43	1,53	1,57
26-X-38 4	65	57	27	28	28	6,4	6,4	6,4	7,—	3,—	2,5
5	65	59	26	25	25	6,3	6,3	6,3	4,—	7,—	3,—
6	65	62	20	18	23	6,3	6,4	6,3	4,—	7,—	6,—
7	70	60	16	15	19	6,1	6,1	6,1	3,—	6,—	5,—
8	60	40	15	15	18	6,1	6,1	6,1	4,—	5,—	5,—
9	60	45	15	15	16	6,2	6,2	6,2	4,—	5,—	4,—
10	60	44	15	15	22	6,1	6,2	6,3	2,5	3,—	2,—
11	50	43	25	27	35	6,5	6,5	6,7	4,—	5,—	15,—
12	50	47	33	36	36	6,7	6,7	6,7	4,—	8,—	4,—
13	60	51	32	26	35	6,4	6,3	6,5	3,—	4,—	3,—
14	70	61	28	25	29	6,4	6,3	6,3	4,—	2,5	1,5
15	70	59	32	29	32	6,4	6,3	6,3	2,5	4,—	2,5
16	70	57	28	29	29	6,3	6,3	6,3	2,5	3,—	2,5
17	80	71	28	28	29	6,3	6,3	6,3	2,5	3,—	2,5
18	70	58	26	26	28	6,3	6,2	6,3	2,5	3,—	2,5
Promedios	64,33	54,27	24,40	23,80	26,93	6,32	6,31	6,34	3,57	4,57	4,07
27-X 38 4	80	74	40	40	41	6,4	6,4	6,4	6,—	6,—	7,—
5	90	80	41	40	40	6,5	6,3	6,4	6,5	5,—	6,—
6	90	82	42	43	44	6,5	6,5	6,5	4,—	6,—	6,5
7	90	83	42	45	37	6,5	6,5	6,4	3,—	3,—	3,—
8	110	93	42	43	33	6,5	6,5	6,4	3,—	4,—	3,—
9	110	91	28	25	23	6,3	6,1	6,1	3,—	4,—	4,—
10	100	82	24	19	18	6,1	6,1	6,1	3,—	4,—	4,—
11	90	70	16	15	18	6,1	6,1	6,1	3,—	3,—	4,—
12	80	60	15	16	24	6,1	6,1	6,2	3,—	6,—	7,—
13	80	55	23	25	37	6,3	6,3	6,5	2,5	3,—	9,—
14	80	57	33	40	40	6,4	6,5	6,5	3,—	3,—	6,—
15	80	68	48	50	50	6,4	6,5	6,5	3,—	4,—	5,—
16	90	79	44	48	44	6,3	6,4	6,3	2,5	3,—	5,—
17	100	83	36	39	35	6,2	6,3	6,2	2,5	3,—	4,—
18	110	93	28	31	25	6,1	6,2	6,1	2,5	4,—	4,—
Promedios	92,00	76,67	34,47	34,60	34,67	6,31	6,32	6,31	3,13	4,07	5,00

RESULTADO DEL ENSAYO Nº 1 (Conclusión)

Día	y hora	Dosis de coagulante p.p.m.	Agua natural	ALCALINIDAD p.p.m. Agua decantada en decantador Nº 1	Nº 3	Nº 21	pH. Agua decantada en decantador Nº 1	Nº 3	Nº 21	TURBIEDAD p.p.m. Agua decantada en decantador Nº 1	Nº 3	Nº 21
28-X-38	4	60	54	26	34	31	6,5	6,5	6,5	6,—	8,—	8,—
	5	60	56	29	27	23	6,4	6,4	6,3	6,—	6,—	6,—
	6	60	52	27	26	19	6,5	6,5	6,4	5,—	6,—	6,—
	7	60	58	25	24	20	6,4	6,4	6,3	4,—	5,—	6,—
	8	60	47	23	22	22	6,3	6,3	6,3	4,—	4,—	5,—
	9	60	49	23	24	23	6,3	6,3	6,3	4,—	4,—	5,—
	10	60	53	22	21	22	6,2	6,2	6,2	4,—	3,—	3,—
	11	60	56	22	24	24	6,2	6,3	6,2	3,—	3,—	3,—
	12	60	55	24	23	21	6,2	6,2	6,2	3,—	3,—	7,—
	13	70	57	26		23	6,3		6,2	2,5		2,5
	14	65	54	23		23	6,2		6,2	2,5		2,5
	15	65	58	23		22	6,2		6,2	2,5		3,—
	16	65	55	23		21	6,1		6,1	2,5		3,—
	17	65	56	22		23	6,2		6,2	2,5		3,—
	18	65	55	22		25	6,2		6,3	2,5		3,—
Promedios		62,33	54,33	24,00		22,80	6,28		6,26	3,60		4,40
		60,—	53,33	23,44	25,44	22,77	6,33	6,34	6,30	4,33	4,67	5,44
29-X-38	4	55	51	21		16	6,2		6,3	3,—		5,—
	5	55	53	17		16	6,2		6,2	2,5		3,—
	6	55	53	16		20	6,3		6,3	3,—		9,—
	7	55	55	17		20	6,1		6,1	2,5		7,—
	8	55	52	18		32	6,3		6,5	3,—		8,—
	9	55	52	25		32	6,2		6,4	3,—		8,—
	10	65	65	39		38	6,4		6,4	9,—		8,—
	11	80	74	38		40	6,4		6,4	5,—		5,—
	12	90	80	37		26	6,3		6,1	6,—		3,—
Promedios		62,78	48,55	26,44		26,67	6,29		6,31	3,67		6,33
30-X-38	4	100	80	14	15	15	5,8	5,8	5,8	6,—	8,—	8,—
	5	90	70	10	9	9	5,7	5,7	5,7	5,—	6,—	7,—
	6	90	68	12	10	12	5,7	5,6	5,7	7,—	7,—	8,—
	7	80	65	18	19	20	5,9	5,9	5,9	6,—	6,—	6,—
	8	65	57	20	20	22	5,9	5,9	6,—	6,—	5,—	6,—
	9	65	56	20	20	22	6,1	6,1	6,1	5,—	6,—	6,—
	10	65	59	22	21	22	6,1	6,1	6,2	4,—	4,—	5,—
	11	65	60	23	24	25	6,2	6,2	6,2	4,—	5,—	7,—
	12	65	60	24	24	20	6,2	6,2	6,2	6,—	6,—	5,—
	13	60	63		28	24		6,2	6,3		5,—	7,—
	14	60	56		27	25		6,2	6,3		5,—	7,—
	15	60	56		29	30		6,2	6,4		6,—	8,—
	16	65	60		38	55		6,3	6,4		7,—	14,—
	17	70	63		62	60		6,5	6,4		14,—	12,—
	18	100	83		47	49		6,3	6,2		10,—	9,—
Promedios		73,33	63,73		26,20	27,33		6,08	6,10		6,—	7,67
		76,11	65,—	18,11	18,—	18,55	5,93	5,94	5,98	5,44	5,89	6,44
31-X-38	4	130	96		20	23		5,9	5,9		2,5	6,—
	5	120	91		24	34		6,1	6,2		2,5	7,—
	6	120	88		30	36		6,2	6,2		4,—	9,—
	7	130	100		29	35		6,1	6,2		2,5	8,—
	8	130	97		26	32		6,1	6,2		3,—	7,—
	9	140	102		27	26		6,3	6,2		5,—	5,—
	10	140	103		17	17		5,9	5,9		2,—	2,—
Promedios		130,—	96,71		27,57	29,—		6,09	6,11		3,07	6,—

Dias	PROMEDIOS										
25	64,33	58,60	24,33	24,37	24,87	6,29	6,27	6,32	1,43	1,53	1,57
26	64,33	54,27	24,40	23,80	26,93	6,32	6,31	6,34	3,57	4,57	4,07
27	92,—	76,67	33,47	34,80	36,87	6,31	6,32	6,31	3,13	4,07	5,—
28	60,—	53,33	23,44	25,44	22,77	6,33	6,34	6,30	4,33	4,67	5,44
29	62,78	48,55	26,44	——	26,67	6,29	——	6,31	3,67	——	6,33
30	76,11	65,—	18,11	18,—	18,55	5,93	5,94	5,98	5,44	5,89	6,44
31	130,—	96,71	——	27,57	29,—	——	6,09	6,11	——	3,07	6,—
Promedios generales	79,79	64,73	25,04	25,66	26,52	6,24	6,21	6,24	3,59	3,97	4,83

RESULTADO DEL ENSAYO Nº 2

Día y hora		Dosis de coagulante p.p.m.	ALCALINIDAD p.p.m. Agua natural	Agua decantada en decantador Nº 1	Nº 5	Nº 17	Nº 21	pH. Agua decantada en decantador Nº 1	Nº 5	Nº 17	Nº 21	TURBIEDAD p.p.m. Agua decantada en decantador Nº 1	Nº 5	Nº 17	Nº 21
1-XI-38	4	100	73	25	28	30		6,1	6,2	6,2		4,—	5,—	7,—	
	5	100	74	20	16	20		6,—	6,—	6,—		6,—	7,—	6,—	
	6	100	76	19	17	17		5,8	5,8	5,9		6,—	8,—	8,—	
	7	110	81	20	19	19		5,9	5,9	5,9		6,—	7,—	8,—	
	8	100	66	22	20	20		6,—	6,—	6,—		6,—	6,—	7,—	
	9	100	68	14	15	14		5,9	5,9	5,9		5,—	6,—	6,—	
	10	100	65	16	18	16		5,9	5,9	5,9		3,—	4,—	4,—	
	11	100	68	20	22	22		6,—	6,—	6,—		2,—	3,—	3,—	
	12	100	71	18	23	25		6,—	6,1	6,1		2,5	7,—	7,—	
	13	100	71	22	20	19		6,—	6,—	6,—		4,—	6,—	7,—	
	14	90	69	21	22	20		6,—	6,—	5,9		4,—	6,—	7,—	
	15	90	63	20	17	17		6,—	5,9	5,9		4,—	5,—	,6—	
	16	90	62	20	25	25		5,8	6,—	6,—		3,—	5,—	5,—	
	17	80	57	27	29	32		6,1	6,1	6,2		3,—	4,—	4,—	
	18	80	66	29	28	25		6,1	6,1	6,1		4,—	4,—	4,—	
Promedios		96,—	68,67	20,87	21,27	21,40		5,98	6,00	6,00		4,17	5,53	5,93	
2-XI-38	4	80	63	25	25	25	25	6,2	6,2	6,2	6,3	2,5	6,—	6,—	4,—
	5	80	64	25	20	22	22	6,2	6,1	6,2	6,2	5,—	7,—	7,—	7,—
	6	80	64	18	19	20	20	6,1	6,—	6,—	6,1	4,—	6,—	7,—	6,—
	7	70	50	20	22	20	20	6,1	6,1	6,1	6,1	4,—	6,—	8,—	5,—
	8	70	55	23	22	23	23	6,2	6,2	6,3	6,3	3,—	6,—	6,—	6,—
	9	80	63	22	22	25	26	6,2	6,2	6,2	6,3	3,—	5,—	5,—	6,—
	10	80	60	22	15	21	23	6,2	6,1	6,1	6,2	4,—	7,—	7,—	8,—
	11	80	60	18	17	18	23	6,—	6,—	6,—	6,1	3,—	6,—	7,—	7,—
	12	70	61	19	23	18	29	6,1	6,1	6,1	6,3	3,—	8,—	6,—	12,—
	13	60	60	22	26	25	30	6,1	6,2	6,2	6,2	4,—	7,—	8,—	6,—
	14	70	62	25	24	24	23	6,3	6,2	6,2	6,2	4,—	8,—	7,—	4,—
	15	80	63	22	21	20	20	6,—	6,—	6,—	6,—	4,—	3,—	3,—	3,—
	16	80	62	23	22	22	20	6,—	6,—	6,—	5,9	2,5	2,5	7,—	2,5
	17	80	62	22	20	23	22	6,1	6,1	6,1	6,1	2,5	4,—	7,—	3,—
	18	80	62	23	25	22	25	6,1	6,1	6,1	6,1	3,—	3,—	6,—	3,—
Promedios		76,—	60,73	21,93	21,53	21,87	23,40	6,13	6,10	6,13	6,16	3,43	5,63	6,55	5,50
3-XI-38	4	70	54	15	16	15	14	5,9	5,9	5,9	5,9	2,5	3,—	3,—	2,5
	5	65	55	15	15	17	15	5,9	5,9	5,9	5,9	2,5	3,—	2,5	2,5
	6	65	55	15	18	15	15	5,9	5,9	5,9	5,9	2,5	10,—	3,—	3,—
	7	60	50	20	22	21	22	6,9	6,3	6,3	6,3	7,—	8,—	7,—	7,—
	8	60	51	23	20	22	20	6,3	6,3	6,3	6,3	6,—	8,—	9,—	9,—
	9	70	53	28	25	25	25	6,3	6,3	6,3	6,3	7,—	11,—	12,—	11,—
	10	75	60	28	31	32	34	6,3	6,3	6,4	6,4	8,—	9,—	14,—	14,—
	11	75	62	30	27	25	25	6,3	6,2	6,3	6,3	7,—	9,—	9,—	9,—
	12	90	69	25	19	9	8	6,2	6,1	5,7	5,7	6,—	7,—	9,—	6,—
	13	110	70	17	12	9	8	6,1	5,9	5,5	5,5	8,—	8,—	9,—	8,—
	14	100	66	13	15	11	12	5,9	5,9	5,8	5,8	7,—	7,—	4,—	4,—
	15	80	57	11	11	10	8	5,8	5,8	5,7	5,7	6,—	7,—	7,—	6,—
	16	80	54	16	16	17	20	5,9	5,9	6,—	6,—	5,—	5,—	7,—	6,—
	17	70	50	14	12	14	14	5,9	5,9	5,9	5,9	3,—	3,—	8,—	3,—
	18	70	50	14	15	14	20	5,9	5,9	6,1	6,1	2,—	4,—	2,5	1,5
Promedios		76,—	57,07	18,97	18,27	17,07	17,20	6,05	6,03	6,—	6,—	5,30	6,80	7,07	5,90
4-XI-38	4	55	56	24	25	24	26	6,3	6,3	6,3	6,3	3,—	5,—	5,—	6,—
	5	55	52	25	24	25	25	6,3	6,3	6,3	6,3	4,—	4,—	6,—	6,—
	6	55	49	24	25	25	25	6,3	6,3	6,4	6,4	4,—	7,—	8,—	14,—
	7	70	57	22	23	24	24	6,3	6,3	6,3	6,3	6,—	7,—	7,—	7,—
	8	70	52	23	24	23	23	6,3	6,3	6,3	6,3	6,—	7,—	7,—	7,—
	9	70	55	19	20	19	19	6,3	6,2	6,2	6,2	3,—	4,—	4,—	4,—
	10	60	50	21	20	21	22	6,3	6,3	6,3	6,3	3,—	6,—	7,—	5,—
	11	60	52	19	20	20	21	6,3	6,2	6,2	6,2	2,5	2,5	3,—	1,5
	12	60	51	25	25	22	25	6,3	6,3	6,3	6,2	1,5	2,—	3,—	1,5
	13	60	47	24	23	23	21	6,3	6,3	6,3	6,4	2,—	3,—	4,—	2,—
	14	60	51	22	22	22	23	6,2	6,2	6,2	6,3	3,—	3,—	3,—	6,—
	15	65	54	22	23	24	23	6,2	6,2	6,2	6,2	2,—	3,—	6,—	2,—
	16	65	54	22	24	23	23	6,2	6,2	6,2	6,2	2,—	4,—	4,—	3,—
	17	65	56	23	25	23	25	6,2	6,2	6,2	6,2	2,5	8,—	5,—	8,—
	18	65	60	21	20	20	20	6,1	6,1	6,1	6,1	2,5	4,—	4,—	4,—
Promedios		62,33	53,07	22,53	23,—	22,66	23,13	6,26	6,25	6,25	6,27	3,13	4,63	5,07	5,13

RESULTADO DEL ENSAYO Nº 2 (Continuación)

Día y hora		Dosis de coagulante p.p.m.	ALCALINIDAD p.p.m. Agua natural	ALCALINIDAD Agua decantada en decantador Nº 1	Nº 5	Nº 17	Nº 21	pH. Agua decantada en decantador Nº 1	Nº 5	Nº 17	Nº 21	TURBIEDAD p.p.m. Agua decantada en decantador Nº 1	Nº 5	Nº 17	Nº 21
5-XI-38	4	65	61	20	19	20	17	6,3	6,2	6,3	6,2	2,—	5,—	2,5	2,5
	5	65	58	20	20	20	20	6,3	6,3	6,3	6,3	2,5	7,—	7,—	5,—
	6	65	53	19	20	21	26	6,2	6,3	6,3	6,4	3,—	4,—	6,—	6,—
	7	65	53	19	19	21	23	6,3	6,2	6,3	6,3	2,5	6,—	5,—	6,—
	8	65	52	20	19	20	24	6,3	6,2	6,3	6,3	4,—	5,—	4,—	4,—
	9	65	55	18	17	17	17	6,2	6,1	6,1	6,1	1,5	2,5	2,—	2,5
	10	65	53	17	16	16	15	6,2	6,1	6,2	6,1	1,5	2,5	2,5	2,—
	11	65	48	17	13	16	14	6,2	6,1	6,1	6,1	2,—	3,—	2,5	6,—
	12	55	45	16	15	16	16	6,2	6,2	6,2	6,2	2,—	2,5	3,—	2,5
	13	55	45	15	15	15	18	6,—	6,—	6,—	6,—	2,5	4,—	6,—	2,5
	14	55	45	16	15	13	15	6,1	6,1	6,—	6,1	2,5	3,—	4,—	7,5
	15	55	45	15	15	15	15	6,—	6,—	6,—	6,—	3,—	4,—	3,—	2,—
	16	50	43	17	17	17	17	6,—	6,—	6,—	6,—	3,—	3,—	3,—	2,5
	17	50	41	18	18	18	19	6,1	6,1	6,1	6,2	6,—	4,—	5,—	9,—
	18	50	43	18	17	19	20	6,1	6,1	6,2	6,2	3,—	4,—	6,—	4,—
Promedios		59,33	49,33	17,66	16,93	17,47	18,27	6,17	6,13	6,16	6,17	3,—	3,97	4,10	4,23
6-XI-38	4	55	46	18	19	19	17	6,2	6,2	6,2	6,2	2,—	2,5	2,5	2,5
	5	55	44	17	18	18	18	6,2	6,2	6,2	6,2	2,—	3,—	2,5	2,5
	6	55	46	17	17	17	17	6,2	6,2	6,2	6,2	2,5	6,—	2,5	3,—
	7	55	45	17	18	17	17	6,2	6,2	6,2	6,2	5,—	7,—	3,—	5,—
	8	55	46	18	19	17	19	6,2	6,2	6,2	6,3	3,—	7,—	3,—	6,—
	9	50	44	16	18	17	18	6,3	6,3	6,3	6,3	3,—	6,—	3,—	4,—
	10	50	43	16	17	17	18	6,3	6,3	6,3	6,3	3,—	8,—	3,—	6,—
	11	50	45	16	21	19	20	6,3	6,3	6,3	6,3	4,—	9,—	4,—	6,—
	12	50	46	26	26	24	29	6,3	6,3	6,3	6,4	6,—	6,—	7,—	7,—
	13	55	50	25	24	23	26	6,3	6,2	6,2	6,3	5,—	5,—	5,—	7,—
	14	60	54	25	22	23	23	6,2	6,1	6,2	6,2	3,—	4,—	3,—	2,5
	15	60	55	20	18	18	23	6,2	6,1	6,1	6,2	2,5	5,—	2,—	2,—
	16	60	57	22	22	22	22	6,1	6,1	6,1	6,1	2,5	2,5	7,—	3,—
	17	55	52	21	20	21	19	6,1	6,1	6,1	6,1	3,—	3,—	4,—	2,5
	18	55	49	21	21	20	20	6,1	6,1	6,1	6,1	3,—	3,—	3,—	2,5
Promedios		54,66	48,13	19,67	20,—	19,47	20,53	6,21	6,19	6,19	6,21	3,30	5,13	3,63	4,10
7-XI-38	4	55	52	25	25	25	25	6,3	6,3	6,3	6,3	6,—	8,—	7,—	7,—
	5	60	55	22	23	27	23	6,3	6,3	6,4	6,3	7,—	8,—	9,—	8,—
	6	60	56	23	20	23	23	6,3	6,3	6,3	6,3	8,—	7,—	8,—	8,—
	7	60	55	23	22	22	16	6,3	6,2	6,3	6,3	7,—	8,—	8,—	8,—
	8	55	42	19	15	20	22	6,2	6,1	6,2	6,3	8,—	7,—	7,—	7,—
	9	55	45	20	13	23	14	6,1	5,9	6,3	6,2	7,—	7,—	8,—	7,—
	10	55	43	17	18	15	19	6,2	6,—	6,1	6,3	7,—	8,—	7,—	7,—
	11	55	44	17	15	16	16	6,1	6,—	6,—	6,1	7,—	6,—	8,—	4,—
	12	55	43	16	17	17	18	6,2	6,2	6,2	6,3	8,—	6,—	4,—	6,—
	13	55	45	15	15	17	16	6,2	6,2	6,1	6,3	6,—	6,—	4,—	5,—
	14	55	42	15	16	16	19	6,2	6,2	6,2	6,2	4,—	4,—	7,—	8,—
	15	50	42	17	20	18	21	6,1	6,2	6,1	6,2	2,—	2,—	2,5	2,—
	16	50	42	23	20	24	26	6,2	6,1	6,2	6,2	2,5	2,5	2,5	2,—
	17	50	45	22	20	22	22	6,2	6,2	6,2	6,2	2,5	2,5	2,5	2,—
	18	50	49	22	20	21	19	6,2	6,2	6,2	6,1	2,—	2,—	2,—	2,—
Promedios		54,66	46,66	19,73	18,60	20,40	19,93	6,21	6,16	6,21	6,24	5,60	5,60	5,77	5,53
8-XI-38	4	55	47	18	19	19	18	6,2	6,2	6,2	6,2	2,5	2,—	2,—	2.5
	5	55	47	19	20	19	21	6,2	6,2	6,2	6,2	2,5	2,—	2,5	5,—
	6	60	47	19	18	18	19	6,3	6,2	6,2	6,3	2,—	2,—	2,—	2,—
	7	60	48	17	17	19	18	6,3	6,2	6,2	6,2	2,—	2,5	2,5	2,—
	8	55	43	18	18	18	19	6,2	6,2	6,2	6,2	2,—	2,—	2,5	2,—
	9	60	47	19	16	19	19	6,3	6,1	6,3	6,3	2,5	2,5	3,—	2,5
	10	55	46	20	19	18	19	6,2	6,2	6,2	6,3	2,5	3,—	3,—	2,5
	11	55	48	20	17	19	19	6,2	6,2	6,3	6,3	2,—	4,—	3,—	2,5
	12	60	50	18	19	19	18	6,1	6,1	6,2	6,1	2,5	3,—	3,—	2,5
	13	60	49	20	17	19	19	6,2	6,2	6,2	6,2	2,5	2,5	3,—	2,—
	14	60	49	18	19	18	20	6,2	6,2	6,2	6,2	1,5	2,—	2,5	2,—
	15	60	52	22	22	21	24	6,2	6,2	6,3	6,3	1,5	2,—	2,5	1,5
	16	60	52	21	21		23	6,2	6,2		6,2	1,—	2,—		1,5
	17	60	52	19	19		18	6,2	6,2		6,2	1,—	2,—		1,5
	18	60	50	17	17		18	6,1	6,1		6,2	1,—	1,5		1,5
Promedios		58,33	48,46	18,99	18,80		19,46	6,21	6,18		6,23	1,93	2,33		2,23
"		57,91	47,91	19,—	18,41	18,83	19,42	6.22	6,18	6,23	6,23	2,17	2,46	2,62	2,42

RESULTADO DEL ENSAYO Nº 2 (Continuación)

Día y hora		Dosis de coagulante p.p.m.	Agua natural	ALCALINIDAD p.p.m. Agua decantada en decantador Nº 1	Nº 5	Nº 17	Nº 21	pH. Agua decantada en decantador Nº 1	Nº 5	Nº 17	Nº 21	TURBIEDAD p.p.m. Agua decantada en decantador Nº 1	Nº 5	Nº 17	Nº 21
9-XI-38	4	55	50	20	20		20	6,2	6,2		6,2	1,5	2,—		2,5
	5	55	52	19	20		21	6,3	6,3		6,3	2,—	2,—		2,—
	6	55	48	20	19		20	6,3	6,3		6,2	1,5	2,5		2,—
	7	55	48	21	21		22	6,3	6,2		6,3	1,5	2,—		1,5
	8	55	42	18	18		20	6,2	6,2		6,2	1,5	2,—		2,—
	9	55	44	16	15		20	6,2	6,1		6,2	2,—	2,5		2,5
	10	55	44	16	15		21	6,2	6,2		6,3	2,5	2,5		3,—
	11	55	44	17	16		21	6,2	6,1		6,2	2,—	2,—		2,5
	12	50	43	18	19		20	6,3	6,2		6,3	1,5	2,—		1,5
	13	50	47	20	22		23	6,3	6,3		6,3	1,5	1,5		1,5
	14	55	47	21	22		23	6,3	6,3		6,3	1,—	1,5		1,—
	15	55	47	20	20		22	6,3	6,3		6,3	1,—	1,5		1,—
	16	55	50	22	22		22	6,2	6,2		6,2	1,—	1,5		1,5
	17	55	51	20	20		19	6,2	6,2		6,2	1,5	2,—		2,5
	18	50	50	18	18		17	6,2	6,2		6,2	2,—	2,5		3,—
Promedios		54,00	48,27	19,06	19,13	—	20,73	6,25	6,22	—	6,25	1,60	2,00	—	2,00
10-XI-38	4	50	49	27	24	25	24	6,3	6,3	6,3	6,3	0,5	1,—	1,—	1,—
	5	55	48	26	25	25	25	6,3	6,3	6,3	6,3	1,—	1,5	2,—	1,—
	6	60	50	23	24	24	23	6,3	6,3	6,3	6,3	1,5	1,5	1,—	1,5
	7	60	52	21	22	23	22	6,2	6,2	6,3	6,2	1,—	1,5	1,5	1,5
	8	55	44	20	19	20	19	6,2	6,2	6,2	6,2	1,—	1,—	1,5	1,—
	9	55	45	18	19	20	21	6,3	6,3	6,3	6,3	4,—	4,—	3,—	8,—
	10	55	45	15	17	18	18	6,1	6,1	6,1	6,2	4,—	4,—	8,—	8,—
	11	55	45	17	17	18	21	6,2	6,1	6,2	6,2	4,—	5,—	14,—	15,—
	12	55	45	20	22	21	24	6,2	6,2	6,3	6,2	7,—	7,—	5,—	7,—
	13	55	47	21	20	20	21	6,2	6,2	6,3	6,3	4,—	5,—	2,5	2,—
	14	60	49	23	23	23	23	6,2	6,2	6,2	6,2	2,—	2,5	2,—	1,5
	15	60	48	20	20	20	20	6,2	6,2	6,2	6,2	2,—	2,5	2,5	1,5
	16	60	49	22	23	23	23	6,2	6,2	6,2	6,2	2,—	4,—	3,—	2,—
	17	60	51	23	23	24	24	6,2	6,2	6,2	6,2	2,5	4,—	3,—	5,—
	18	65	57	21	21	22	21	6,2	6,2	6,2	6,2	2,—	2,5	2,5	3,—
Promedios		57,33	48,27	21,13	21,27	21,73	21,93	6,22	6,21	6,24	6,23	2,56	3,13	3,50	3,93
11-XI-38	4	60	50	22	22	22	24	6,3	6,3	6,3	6,3	3,—	3,—	2,—	7,—
	5	60	51	21	21	20	21	6,3	6,3	6,3	6,3	2,—	2,5	1,5	2,—
	6	60	52	19	20	20	19	6,2	6,3	6,2	6,2	1,5	2,—	2,—	1,5
	7	60	48	19	20	20	19	6,2	6,2	6,2	6,2	1,5	1,5	2,—	2,—
	8	60	48	19	20	19	18	6,2	6,2	6,2	6,2	1,5	1,5	2,—	3,—
	9	60	49	16	20	16	15	6,2	6,2	6,3	6,2	2,5	2,5	3,—	2,5
	10	60	47	18	19	18	18	6,2	6,2	6,2	6,2	2,5	2,5	2,5	2,5
	11	60	47	16	17	16	16	6,1	6,1	6,1	6,1	2,5	3,—	2,5	3,—
	12	60	47	17	17	17	17	6,1	6,1	6,1	6,1	2,—	2,5	3,—	2,5
	13	60	49	15	15	16	16	6,1	6,1	6,1	6,1	2,—	2,5	3,—	2,—
	14	55	45	16		16	16	6,1		6,1	6,1	1,5		2,—	2,—
	15	55	47	17		18	18	6,2		6,2	6,2	1,5		2,5	2,—
	16	55	47	18		20	22	6,2		6,2	6,3	2,5		3,—	3,—
	17	50	49	20		20	24	6,3		6,3	6,3	4,—		4,—	6,—
	18	50	49	21		21	21	6,3		6,3	6,3	2,5		4,—	4,—
Promedios		57,67	48,40	18,27	—	18,60	18,93	6,20	—	6,20	6,20	2,20	—	2,60	3,00
		60,00	48,80	18,20	19,10	18,40	18,30	6,19	6,20	6,20	6,19	2,10	2,35	2,35	2,80
12-XI-38	4	55	50	24		25	26	6,3		6,3	6,3	3,—		3,—	2,5
	5	55	49	24		25	25	6,3		6,3	6,3	2,5		6,—	2,5
	5	55	51	25		25	23	6,3		6,3	6,3	2,5		2,5	2,5
	7	60	53	24		24	20	6,3		6,3	6,2	2,—		4,—	7,—
	8	60	48	18		19	19	6,2		6,2	6,2	2,5		3,—	2,5
	9	60	47	17		17	17	6,1		6,2	6,2	4,—		4,—	8,—
	10	60	50	14		18	19	6,—		6,1	6,2	4,—		4,—	7,—
	11	60	48	10		14	15	5,9		6,1	6,1	4,—		7,—	7,—
	12	55	45	17		20	22	6,1		6,2	6,2	6,—		8,—	7,—
	13	55	46	16		19	19	6,1		6,2	6,2	3,—		5,—	4,—
	14	55	46	20		20	22	6,3		6,3	6,3	2,5		4,—	4,—
	15	55	49	24		24	25	6,3		6,3	6,3	5,—		4,—	7,—
	16	55	52	22		24	24	6,3		6,3	6,3	4,—		5,—	3,—
	17	55	51	23		23	23	6,3		6,3	6,3	2,5		4,—	4,—
	18	60	53	21		23	23	6,3		6,3	6,3	2,—		3,—	2,5
Promedios		57,00	49,67	19,93	—	21,33	21,47	6,21	—	6,25	6,25	3,30	—	4,43	4,70

RESULTADO DEL ENSAYO Nº 2 (Conclusión)

Día y hora		Dosis de coagulante p.p.m.	ALCALINIDAD p.p.m. Agua natural	Agua decantada en decantador Nº 1	Nº 5	Nº 17	Nº 21	pH. Agua decantada en decantador Nº 1	Nº 5	Nº 17	Nº 21	TURBIEDAD p.p.m. Agua decantada en decantador Nº 1	Nº 5	Nº 17	Nº 21
13-XI-38	4	55	50	22	22	21	22	6,2	6,2	6,2	6,2	2,—	2,—	2,—	2,—
	5	55	50	21	21	21	22	6,2	6,2	6,2	6,2	2,—	2,—	2,—	2,—
	6	55	50	22	22	22	22	6,2	6,2	6,2	6,2	2,—	2,—	2,—	2,—
	7	55	50	22	21	23	21	6,2	6,2	6,3	6,2	2,—	2,—	4,—	3,—
	8	55	50	20	20	21	20	6,2	6,3	6,2	6,2	2,5	3,—	3,—	3,—
	9	55	50	20	20	22	22	6,3	6,3	6,3	6,3	3,—	3,—	4,—	3,—
	10	50	48	20	20	19	19	6,2	6,2	6,2	6,2	3,—	3,—	3,—	4,—
	11	50	48	24	24	23	23	6,3	6,3	6,3	6,3	3,—	7,—	3,—	7,—
	12	55	50	22	23	25	25	6,3	6,3	6,3	6,3	4,—	9,—	4,—	8,—
	13	55	48	23	25	25	26	6,3	6,4	6,4	6,4	2,5	8,—	5,—	8,—
	14	55	48	23	21	22	24	6,3	6,3	6,3	6,3	2,5	4,—	2,5	1,5
	15	55	49	24	23	23	23	6,3	6,3	6,3	6,3	2,5	3,—	3,—	2,5
	16	60	53	23	23	23	23	6,3	6,3	6,3	6,3	2,5	3,—	3,—	2,5
	17	60	53	24	24	24	24	6,3	6,3	6,3	6,3	2,5	3,—	6,—	4,—
	18	60	52	23	23	22	22	6,3	6,3	6,2	6,2	2,—	3,—	3,—	2,5
Promedios		55,33	49,93	22,20	32,07	22,40	22,53	6,26	6,27	6,27	6,26	2,53	3,80	3,30	3,67
14-XI-38	4	55	49	21	22	22	22	6,2	6,2	6,2	6,2	4,—	8,—	9,—	9,—
	5	55	49	24	22	21	23	6,3	6,3	6,3	6,3	6,—	7,—	6,—	8,—
	6	55	51	23	22	22	22	6,3	6,3	6,3	6,3	4,—	8,—	6,—	4,—
	7	55	51	21	19	21	21	6,3	6,2	6,3	6,3	2,5	4,—	3,—	3,—
	8	55	44	21	21	21	19	6,3	6,3	6,3	6,2	3,—	6,—	5,—	6,—
	9	55	44	21	21	20	21	6,3	6,3	6,3	6,3	3,—	6,—	6,—	6,—
	10	50	47	21	22	22	23	6,4	6,4	6,4	6,4	3,—	6,—	6,—	6,—
	11	50	46	24	24	23	22	6,4	6,4	6,3	6,3	2,5	3,—	3,—	2,5
	12	55	50	22	21	22	22	6,3	6,3	6,3	6,3	2,5	3,—	3,—	3,—
	13	55	50	19	19	20	20	6,2	6,2	6,2	6,2	3,—	4,—	3,—	3,—
	14	55	48	20	18	20	19	6,2	6,2	6,2	6,2	4,—	9,—	7,—	7,—
	15	50	46	20	20	20	20	6,2	6,2	6,2	6,2	4,—	7,—	7,—	7,—
	16	50	45	22	23	22	23	6,3	6,3	6,3	6,3	2,5	2,5	7,—	5,—
	17	50	45	23	23	23	23	6,3	6,3	6,3	6,3	2,5	2,5	4,—	4,—
	18	55	47	25	26	26	25	6,3	6,3	6,3	6,3	2,—	2,—	3,—	2,5
Promedios		53,33	47,47	21.80	21,75	21,67	21,67	6,29	6,28	6,28	6,28	3,17	5,20	5,20	5,07

PROMEDIOS

Día	Dosis de coagulante p.p.m.	Alcalinidad Agua natural	Nº 1	Nº 5	Nº 17	Nº 21	pH Nº 1	Nº 5	Nº 17	Nº 21	Turbiedad Nº 1	Nº 5	Nº 17	Nº 21
1	96,—	68,67	20,87	21,27	21,40	—	5,98	6,—	6,—	—	4,17	5,53	5,93	—
2	76,—	60,73	21,93	21,53	21,87	23,40	6,13	6,10	6,13	6,16	3,43	5,63	6,53	5,50
3	76,—	57,07	18,97	18,27	17,07	17,20	6,05	6,03	6,—	6,—	5,30	6,80	7,07	5,90
4	62,33	53,07	22,53	23,—	22,66	23,13	6,26	6,25	6,25	6,27	3,13	4,63	5,07	5,13
5	59,33	49,33	17,66	16,93	17,47	18,27	6,17	6,13	6,16	6,17	3,—	3,97	4,10	4,23
6	54,66	48,13	19,67	20,—	19,47	20,53	6,21	6,19	6,19	6,21	3,30	5,13	3,63	4,10
7	54,66	46,66	19,73	18,60	20,40	19,93	6,21	6,16	6,21	6,24	5,60	5,60	5,77	5,53
8	57,91	47,91	19,—	18,41	18,83	19,42	6,22	6,18	6,23	6,23	2,17	2,46	2,62	2,42
9	54,—	48,27	19,06	19,13	—	20,73	6,25	6,22	—	6,25	1,60	2,—	—	2,—
10	57,33	48,27	21,13	21,27	21,73	21,93	6,22	6,21	6,24	6,23	2,56	3,13	3,50	3,93
11	60,—	48,80	18,20	19,10	18,40	18,30	6,19	6,20	6,20	6,19	2,10	2,35	2,35	2,80
12	57,—	49,67	19,93	—	21,33	21,47	6,21	—	6,25	6,25	3,30	—	4,43	4,70
13	55,33	49,93	22,20	22,07	22,40	22,53	6,26	6,27	6,27	6,26	2,53	3,80	3,30	3,67
14	53,33	47,47	21,80	21,75	21,67	21,67	6,29	6,28	6,28	6,28	3,17	5,20	5,20	5,07
Promedios	62,42	51,71	20,19	20,10	21,13	20,65	6,19	6,17	6,18	6,21	3,24	4,32	4,57	4,23

En consecuencia afirmamos que:

1. Las condiciones hidráulicas del escurrimiento del agua al través del conducto principal (velocidades, tiempos, cambios de sección y de dirección, etc.) no afectan para nada la eficiencia relativa de clarificación observada en los decantadores, puesto que en todos los ensayos realizados, siempre los decantadores más alejados dieron mejor agua, contrariamente a lo sostenido por el autor del trabajo que comentamos.
2. Contrariamente también a la creencia general y a las observaciones extranjeras, en el caso de las aguas del Río de la Plata, el coágulo una vez deshecho y vuelto a flocular se reconstruye (ensayos de laboratorio), dando agua de tan buena calidad como la obtenida con el coágulo decantado sin rotura y a veces mejor.

"RAZÓN Nº 5. — El agua con el coagulante inyectado en las bombas elevadoras principales, antes de entrar al conducto principal no experimenta ninguna floculación; en cambio, en el caso del agua de las bombas auxiliares, el piletón o cámara de éstas, funciona casi como una cámara de mezcla y de floculación. Esta es la razón fundamental de mi objeción a las *conclusiones* del trabajo que analizo. El croquis de dicha cámara (Fig. 2), indica la disposición de los tabiques y justifica la afirmación precedente".

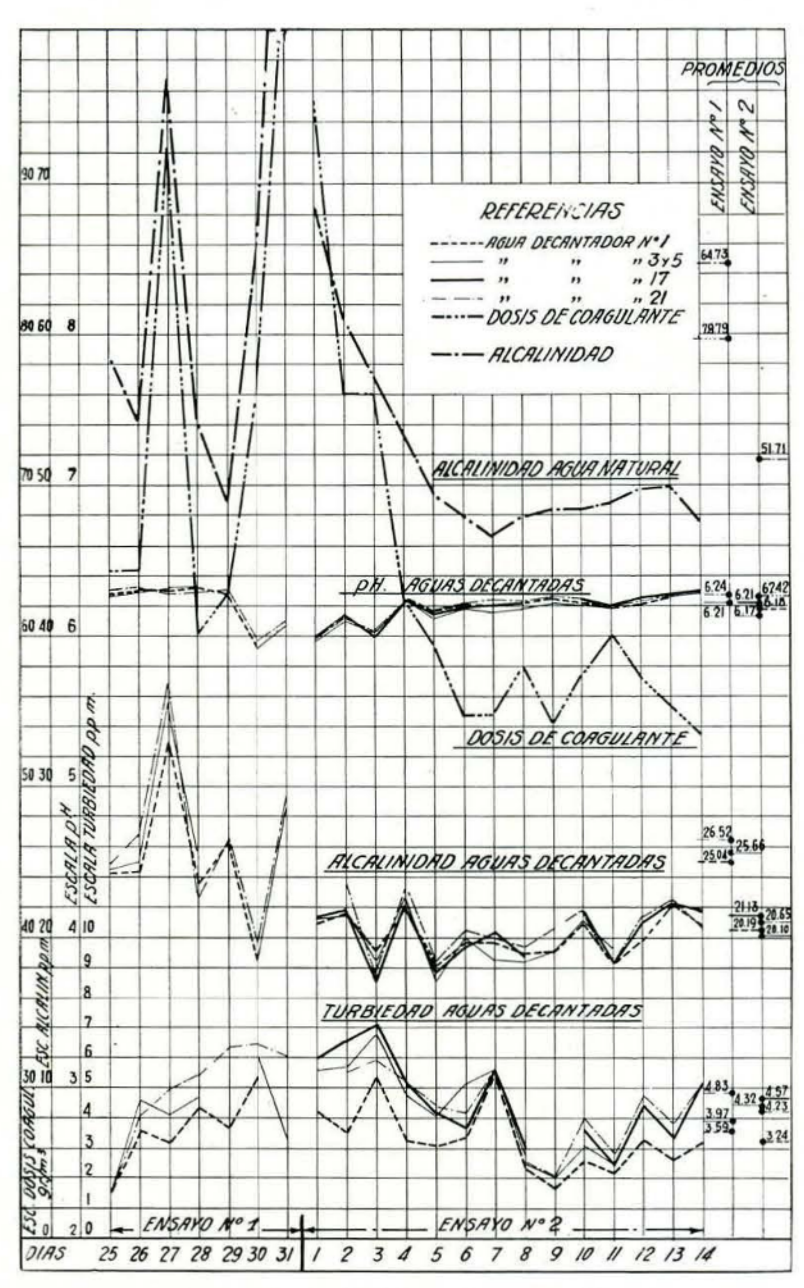


Gráfico de los resultados obtenidos en los ensayos Nº 1 y Nº 2

Se sabe que no se puede coagular correctamente, un agua a la que sólo se ha agregado las dos terceras partes de la dosis de coagulante que experimentalmente se haya determinado, reducida aún en un 20 % más, es decir el 53,35 % del total (caso de la inyección fraccionada). En todas partes se realizan ensayos de dosificación para fijar la dosis de coagulante y se agrega la dosis indicada por estos ensayos o sinó, otras mayores, pues en la práctica en algunos casos se necesitan dosis más altas que las determinadas en vasos. ¿Cuál sería entonces la base química de una reducción de coagulante en inyección única?

Hasta hace poco, sólo conocíamos un medio para disminuir el gasto de coagulante: la floculación o acondicionamiento del coágulo. Ahora sabemos que es posible disminuirlo fraccionando la inyección de la dosis y dispersando el coagulante.

Respecto al criterio de atribuir condiciones de floculación a la cámara de carga o piletón, diremos que:

Por definición elemental de cámara de mezcla y de floculación, se sabe que su condición primordial, es que origine en el agua velocidades decrecientes, lo que no se cumple en manera alguna en el piletón o cámara de carga del conducto auxiliar, en el cual, el agua sufre varios cambios de velocidades alternativamente mayores y menores, para adquirir finalmente, al entrar al conducto de 1,50 m. de diámetro, bruscamente, una velocidad nueve veces mayor. Por lo cual las condiciones hidráulicas del piletón como cámara de mezcla son nulas o negativas, y a esto se agrega, según puede verse en la figura Nº 1, que la velocidad del agua en una gran parte del recorrido es inferior a la mínima de 0,15 m/seg., señalada por todos los autores para cámaras de mezcla, lo que da origen a la decantación del coágulo, cosa que se ha podido comprobar al vaciarlo para practicar limpiezas, en todas las cuales se han encontrado depósitos de barro, hasta de 0,80 m. de altura.

El piletón o cámara de carga de referencia, se conduce por lo tanto como un pre-decantador deficiente, y el atribuirle funciones de floculador es un error, como se ha demostrado claramente, al eliminarlo durante los ensayos de alimentación de todos los decantadores con las bombas principales.

La aparición del coágulo en el piletón, se debe a la permanencia del agua en dicha cámara, y es análoga a la aparición de coágulos en la entrada de todos los decantadores del Establecimiento que no cuentan con cámaras de floculación. No se produce lo propio en las cámaras de carga del conducto principal, por que en ellas el tiempo de permanencia es mucho menor y el régimen hidráulico de las mismas turbillonario.

La dispersión del coagulante, en cambio, puede ser que resulte más eficaz en las bombas elevadoras auxiliares que funcionan a razón de 585 revoluciones por minuto, mientras que en las bombas elevadoras principales giran a razón de 250 a 365 r.p.m.

Aseguramos en consecuencia:

1º Que el piletón o cámara de carga del conducto auxiliar no puede de ninguna manera ser considerado como una cámara de mezcla y floculación, sino que es en realidad una cámara de sedimentación deficiente, en tiempo y régimen hidráulico, debido a las velocidades variables del agua y a los valores límites que ellas alcanzan.

2º Que la aparición del coágulo con dosis completas de coagulante o muy próximas a ella, en el piletón o cámara de carga de las bombas auxiliares, se debe a la permanencia del agua en la misma, siendo el fenómeno semejante al que se produce en los decantadores del Establecimiento. No ocurre lo propio en la cámara de carga de las bombas principales, por ser el tiempo de permanencia del agua, en ellas, muy breve y su régimen de tránsito turbillonario.

"RAZÓN Nº 6. — Los decantadores Nos. 1, 2 y 3, que se han elegido para las experiencias, no son análogos, pues el Nº 3 presenta un ancho de 35,30 metros, siendo alimentados por tres conductos. En cambio, el decantador Nº 2 que tiene el mismo ancho que el anterior está dividido en tres calles de 11,40, 11,67 y 11,32 m. respectivamente, alimentadas individualmente cada una por un conducto. Por su parte, el decantador Nº 1 tiene dos calles de 15,70 y 11,50 m. respectivamente, alimentadas, también, por conductos individuales. Por ello, en estos dos últimos decantadores parecería más difícil la formación de corto-circuitos".

Es cosa sabida que en el Establecimiento Palermo no existen dos decantadores iguales, lo que puede inducir a creer que ninguna experiencia en grande o tamaño natural podría realizarse con ellos; pero por suerte la mayoría tiene la misma longitud, diferenciándose solamente en el ancho en forma tal que no influye notablemente en los resultados comparativos. La división de algunos de los descantadores en calles, hidráulicamente no es completa, ya que las distintas calles están unidas a la entrada por orificios de fondo.

Lo mismo resulta en cuanto a su alimentación, que es una sola en todos los casos, dividida en dos para los de menor ancho y en tres para los de mayor y como todos tienen pantalla distribuidora y vertedores fronteros, hidráulicamente las entradas de agua a los decantadores son exactamente iguales. Prácticamente la entrada del agua a todos los decantadores se efectúa en idéntica forma y en todo su ancho, lo que evita y atenúa la formación de corto-circuitos y corrientes vagabundas.

Con lo cual puede dejarse establecido:

1º Que la circunstancia de que los decantadores del Establecimiento Palermo no son del mismo ancho, constituye un factor previsto en el plan de estudios que se está llevando a cabo.

2º Que no existen las diferencias de alimentación de los decantadores, pues estando todos provistos de los mismos dispositivos de entrada, esas condiciones son prácticamente idénticas.

Considerando las conclusiones deducidas por el Dr. Bado, de los ensayos realizados sobre la base de la teoría de que la cámara de carga de las bombas auxiliares o "piletón" *funciona casi como una cámara de mezcla,* cabe decir que aquellas deben ser objetadas pues están fundadas en ensayos incompletos, ya que en el mismo artículo se informa que se ha tenido que desechar el 52 % de las muestras, por haber resultado mal dosada el agua, un 15 % más por encontrar que se ha coagulado a un pH muy inferior al óptimo y del 33 % restante solo 80 % son favorables a esas conclusiones. Quiere decir que éstas se basan en un 26 % del total de las muestras analizadas. Además, ha considerado muestras de decantadores como los números 19 y 21, en los cuales el agua no se encontraba a igual permanencia que en los ensayados, y por tanto, los datos y resultados obtenidos en los mismos tienen que inducir a error.

Las muestras de agua coagulada tomadas al mismo tiempo en el piletón y en la cámara de carga B de las bombas elevadoras principales, no son comparables, lo que se habría evidenciado haciendo la comparación de sulfatos, alcalinidad y pH de las muestras, cuyos datos debieron hacer buscar la causa de anomalías evidentes en la dosificación.

Lamentamos no conocer con exactitud el punto de extracción de las muestras comparadas, pero, si por la facilidad con que pueden tomarse éstas, han sido extraídas en el ángulo Noroeste del piletón y cerca de la escalera de acceso en la cámara de carga B, las aguas en estos sitios están afectadas en modo diferente por la inyección de coagulante.

En el piletón sucede lo siguiente:

1) La muestra es representativa de la mezcla de toda el agua elevada por las bombas.

2) La dispersión de coagulante es más eficaz, por la mayor velocidad de rotación de las bombas elevadoras auxiliares.

3) La muestra se toma después de siete minutos de haberse efectuado la inyección y el agua se desplaza a una velocidad próxima a la decantación.

En cambio en la cámara B sus condiciones son diferentes por que:

1) Las muestras debido a la falta de mezcla de las aguas provenientes de las diferentes bombas, por repartición deficiente del coagulante en la inyección, contienen según los sitios de extracción, cantidades mayores o menores del mismo, de la que en realidad les corresponde.

2) La dispersión de coagulante es menos eficaz por la menor velocidad de rotación de las bombas elevadoras principales.

3) La muestra se toma después de un minuto de haber recibido la inyección en una zona de gran turbulencia producida por el choque de los caudales provenientes de las distintas bombas.

Vemos pues, que la comparación de las muestras referidas no tiene ningún valor.

La deficiente repartición del coagulante en las bombas elevadoras principales, se comprobó a raíz de un estudio encomendado por el señor Director Técnico sobre las características que presenta el coágulo a lo largo del conducto de alimentación de agua a los decantadores, encontrándose que la inyección impropiamente llamada única, tenía defectos que difícilmente se podrían subsanar sin modificar los dispositivos de que se dispone para efectuarla, lo que ha dado origen al expediente 39.979-DT-1938, por el cual se han autorizado las modificaciones necesarias para obtener una buena distribución de la inyección del coagulante en el caudal elevado por las bombas elevadoras principales.

De todas maneras, cabe advertir, que la dosificación del caudal elevado por las bombas principales es correcta y que el error está en la repartición del coagulante en las diferentes bombas, es decir, que la dosificación parcial de los caudales que eleva cada bomba es errónea, cosa que puede también apreciarse en los análisis que ha hecho efectuar el Dr. Bado, al comparar el pH y la alcalinidad de las muestras tomadas en la cámara de carga B. y en los decantadores.

Además, las turbiedades que figuran en los análisis publicados, no han sido bien determinadas, pues no es posible que la comparación entre las

determinaciones hechos con los dos turbidímetros utilizados sean tan discrepantes.

El cuadro siguiente permite deducir que uno de los dos métodos debe ser erróneo.

CUADRO DE TURBIEDADES

Jackson mg/1.—		Nefelómetro Pulfrich-Zeiss Relativa
2		15
3	de	13 a 22
4	,,	15 a 22
5	,,	20 a 26
6	,,	21 a 30
7	,,	22 a 42
8	,,	29 a 35
9	,,	25 a 49
10	,,	33 a 41
11	,,	32 a 50
12	,,	40 a 56
13	,,	44 a 57
14	,,	50 a 55
15	,,	60 a 63
16	,,	54 a 64

Creemos que el turbidímetro o mejor dicho el nefelómetro de Pulfrich-Zeiss es un aparato de precisión, aunque las turbiedades determinadas con él no son comparables con las que dan los métodos "standard", por lo tanto debemos considerar que el error está en las determinaciones "Jackson" (en lo que a esto respecta suponemos que se le ha dado este nombre por el hecho de usar tipos, cuya solución madre está controlada por el turbidímetro Jackson).

El aparato usado para turbiedades menores de 25 p.p.m., no es un turbidímetro Jackson, no siendo tampoco el aconsejado en los métodos "standard" ya que la comparación con los tipos no se hace por transparencia como dicen éstos.

Deducimos en resumen:

1º) Que en ningún momento se ha intentado deducir conclusiones de los ensayos de inyección fraccionada de coagulante, no terminados, sino que se adelantaron noticias y si se quiere se anunciaron futuras y probables ventajas presuntas.

2º) Que el coágulo no se rompe con los remolinos, ni con los cambios de velocidad en el conducto de alimentación de los decantadores, y si lo hace se reconstruye con facilidad.

3º) Que la cámara de carga de las bombas elevadoras auxiliares o piletón, no funciona "casi como una cámara de mezcla o floculación" sino como un deficiente pre-decantador.

4º) Que la inyección impropiamente llamada "única" se efectúa individualmente en la aspiración de cada una de las bombas elevadoras principales y con una repartición de la dosis deficiente que está en vías de corregirse.

5º) Que los ensayos de coagulación con inyección fraccionada de coagulante, se proseguirán siguiendo el plan que se tiene trazado, concretando las conclusiones una vez que se tenga seguridad de sus resultados.

6º) Que el 26,4 % del total de los ensayos efectuados con inyección única de coagulante y con dosis menores a la determinada, no es suficiente para deducir conclusiones categóricas al respecto, pero si experimentos bien conducidos, confirmasen esos resultados en el sistema de las bombas auxiliares, conducto de 1,500 m. de diámetro y decantadores Nos. 1 y 2, creemos que se debería a la mejor dispersión del coagulante en estas bombas, y a las características de estos decantadores y no a que el piletón funciona "casi como una cámara de mezcla y floculación".

7º) Que todos los ensayos emprendidos para implantar en la práctica la coagulación con inyección fraccionada, tienden a realizar más económicamente lo que con otros dispositivos podría también obtenerse.

Gracias a estos ensayos, se establecerá definitivamente si además de la floculación puede realizarse economía de coagulante por la inyección fraccionada y su mejor dispersión.

Consideramos que cualquier observación fundada contribuirá a dilucidar los diferentes aspectos del estudio que se realiza y si discutimos las que motivan este artículo, no es porque consideremos que no puedan formularse otras, con verdadera utilidad para el progreso que se persigue.

Potenciómetro a válvula termoiónica para potenciometría en general y determinaciones de pH con electrodos de alta y baja resistencia

POR LOS DOCTORES

DANIEL J. BENGOLEA y ADOLFO GONZALEZ POCCARD

(De la Dirección Técnica Capital Federal, O. S. N.)

Oportunamente uno de los autores se refirió al significado del pH (*) y a los métodos más comunes para determinarlo.

Respecto a la determinación colorimétrica del pH, podemos añadir que aunque resulte cómoda, tiene sus desventajas, pues no sólo es inaplicable a soluciones coloreadas, sino que sus resultados son poco exactos en presencia de coloides o materias en suspensión, siendo afectado por los oxidantes y los reductores, además de estar supeditado a otro error, conocido como "error de sal".

Los métodos potenciométricos, aunque son menos sencillos, tienen mayor exactitud, y se pueden aplicar en la generalidad de los casos, siempre que se utilice un electrodo apropiado. La potenciometría, como su nombre lo indica, está basada en la medición del potencial o f.e.m. de una pila constituída por dos medios elementos, uno de ellos de potencial conocido, que se denomina electrodo de referencia, y el otro es el formado por el líquido cuyo pH queremos establecer, puesto en contacto con un cuerpo o substancia sensible a los iones hidrógeno, de modo que se produzca un potencial dependiente de la concentración de aquéllos.

Estos dos medios elementos de pila, o electrodos, están conectados entre sí por un puente electrolítico (solución saturada de ClK).

Como electrodos de referencia se emplean generalmente los de calomel (saturado, normal ó 0,1 normal), o también los de quinhidrona. De los primeros, el más práctico es el saturado, por la constancia de su concentración. Los de quinhidrona (el de Veibel y el de Michaelis son los más utilizados) tienen la ventaja de su rápida preparación, pero su duración es relativamente corta (2 ó 3 días).

El "electrodo a medir", o sea el potencial desconocido y dependiente de la concentración de iones hidrógeno, puede ser el de hidrógeno, el de quinhidrona o el de vidrio, para citar solamente los más exactos y conocidos.

Electrodo de hidrógeno

El electrodo de hidrógeno es el tipo fundamental de los utilizados en las determinaciones de pH; está formado por una lámina o hilo de un metal noble, recubierto electrolíticamente de platino, colocado dentro de la solución cuyo pH se desea determinar y sometido a un burbujeo de hidrógeno (H_2).

Esta lámina o hilo platinado se satura de hidrógeno gaseoso H_2, el cual parcialmente se encuentra al estado monoatómico, por la tendencia de H_2 a dar H, según la expresión $H_2 \leftrightarrows 2H$. Por otra parte, los iones hidrógeno de la solución, tienden a tomar un electrón y dar hidrógeno atómico: $H^+ + e \leftrightarrows H$ (e = electrón). Este sistema con intercambio de electrones es conocido

(*) Boletín de O. S. N., Nº 11, mayo de 1938.

como de oxi-reducción o "redox", al cual se puede aplicar la ecuación de Nernst.

$$E_H = E_o + \frac{RT}{F} \log. \frac{(H+)}{H}, \text{ donde:}$$

E_H = Potencial a medir

E_o = Potencial del electrodo para $(H^+) = 1$.
T = Temperatura absoluta.
R = Constante de los gases.
F = Faradio.
(H^+) = Concentración de los iones hidrógeno de la muestra (*).
(H) = Concentración de H monoatómico.

Ahora bien, de la ecuación $H_2 \leftrightarrows 2H$, por aplicación de la ley de las masas tenemos:

$$k = \frac{(H)^2}{(H_2)} \quad ; \quad (H) = K \sqrt{(H_2)} \qquad (I)$$

Sustituyendo en la fórmula de Nernst el término (H) por $K \sqrt{(H_2)}$ y haciendo $\frac{RT}{F} = f$, tendremos:

$$E_H = E_o + f \log. \frac{(H+)}{K \sqrt{(H_2)}} \qquad (II)$$

Pero como (H_2) es proporcional a la presión del gas hidrógeno, y siendo ésta en los electrodos comúnmente usados, igual a 1 atmósfera, la fórmula anterior se convertirá en:

$$E_H = E_o + f \log. (H^+) \qquad (III)$$

Como se ha convenido establecer que un electrodo de hidrógeno a una atmósfera de presión de H_2 seco, sumergido en una solución cuya concentración en iones hidrógeno sea la unidad, $(H^+) = 1$, tiene un potencial igual a cero a cualquier temperatura, el término E_o desaparece, quedando por lo tanto:

$$E_H = f \log. (H^+) \qquad (IV)$$

Hemos visto que para determinar el potencial de esta media pila E_H, necesitamos conectarla a otra media pila o electrodo de referencia, por ejemplo el de calomel saturado, E_c, el que por ser positivo con respecto al de hidrógeno E_H, nos daría:

$$V = E_c - E_H \qquad (V)$$

donde V = f.e.m. de la pila, por lo tanto:

$$E_H = E_c - V \qquad (VI)$$

En la fórmula (IV) teníamos que: $E_H = f \log. (H^+)$, reemplazando este valor en la (VI) tenemos: $E_c - V = f \log. (H^+)$ (VII)
y como $pH = -\log. (H^+)$ en definitiva resulta:

$$pH = \frac{V - E_c}{f} \qquad (VIII)$$

En el cuadro Nº 1 se encontrarán los valores de E_c y de f para diferentes temperaturas.

(*) Actualmente se reemplaza el término "concentración" por el más exacto de "actividad" del ión hidrógeno.

CUADRO Nº 1

TABLA DE VALORES

tº	l f	f	Fo, q	Ec, satur.	Fo, q — Ec, satur.
		En voltios			
10	17.83	0.0561	0.7103	0.2555	0.4548
11	17.76	563	7095	2548	4547
12	17.70	565	7088	2542	4546
13	17.64	567	7081	2536	4545
14	17.57	569	7074	2529	4545
15	17.51	571	7066	2523	4543
16	17.45	573	7059	2516	4543
17	17.39	575	7052	2510	4542
18	17.33	577	7044	2503	4541
19	17.27	579	7036	2497	4539
20	17.21	581	7029	2490	4539
21	17.15	583	7022	2483	4539
22	17.09	585	7014	2477	4537
23	17.04	587	7007	2470	4537
24	16.98	589	6999	2464	4535
25	16.92	591	6992	2458	4534
30	16.64	601	6955	2420	4535
40	16.05	621	6881	2340	4541

El electrodo de hidrógeno que como ya dijimos ha sido la base de comparación para todos los otros, no presenta "error de sal" ni de albúmina, pero no puede usarse en presencia de compuestos oxidantes o reductores fuertes, ni susceptibles de hidrogenación. Afectan también a este electrodo las sales de metales con potenciales de electrodo menos positivos que el de hidrógeno, y finalmente diremos que no es aplicable a líquidos con CO_2 disuelto o semicombinado, ya que el burbujeo del hidrógeno elimina parcialmente este gas y por consiguiente se producen modificaciones en el pH de la solución.

Electrodo de quinhidrona

Este electrodo es muy sencillo en su preparación, pues sólo se necesita sumergir una lámina de platino o de oro de aproximadamente 1 cm^2, en la solución cuyo pH se desea conocer, previo agregado de quinhidrona (en un minuto la solución se satura con quinhidrona, cuyo exceso se deja depositar después de una ligera agitación). Este electrodo es aplicable hasta pH 8, pues a pH más elevados se produce una oxidación de la hidroquinona por el oxígeno del aire (salvo que se trabaje en atmósfera inerte). La quinhidrona es una mezcla equimolecular de quinona e hidroquinona, por consiguiente el electrodo es afectado por todo lo que sea capaz de modificar esta relación, como serían los oxidantes y los reductores, los cuales producen además otro potencial "redox". El electrodo de quinhidrona es también influenciado entre otras substancias por los coloides, las albúminas, las grasas y las sales de plata, pero se puede utilizar en líquidos con CO_2, donde como se ha dicho no es posible emplear el de hidrógeno.

A este electrodo, donde tiene lugar el siguiente proceso de oxi-reducción.

$$\text{quinona (O=C}_6\text{H}_4\text{=O)} + 2H^+ + 2e \leftrightarrows \text{hidroquinona (HO-C}_6\text{H}_4\text{-OH)}$$

quinona hidroquinona

se le aplica la ecuación de Nernst

$$E_q = E_{o,q} + f \log. \frac{(\text{quinona})}{(\text{hidroq.})} (H^+) \qquad (IX)$$

donde:

E_q = Potencial del electrodo en la solución desconocida.

E_{oq} = Potencial del electrodo para $(H^+) = 1$.

y como ya se ha dicho que la quinhidrona es una mezcla equimolecular de quinona e hidroquinona, tenemos:

$$E_q = E_{o,q} + f \log. (H^+) \qquad (X)$$

empleando como electrodo de referencia al de calomel saturado, obtenemos como fórmula final:

$$pH = \frac{E_{o,q} - E_c \pm V}{f} \qquad (XI)$$

Si el electrodo de calomel Ec, hace de polo —, el voltaje leído V, debe restarse, en caso contrario se suma.

Los valores de $E_{o,q}$ y de E_c saturado, para temperaturas entre 10 y 40° C. se dan también en el cuadro Nº 1.

Electrodo de vidrio

Cremer fué el primero en dejar establecido que cuando una lámina de vidrio muy delgada separa dos soluciones de distinta concentración en iones hidrógeno (H^+), se produce una diferencia de potencial. Tres años más tarde, Haber y Klemensiewiecz (1909) encuentran que este potencial tiene un valor semejante al producido en un electrodo de hidrógeno, para soluciones ácidas entre 0,1 y 0,01 N; pero sólo después de muchos años el electrodo de vidrio ha sido una realidad práctica, gracias a los trabajos efectuados por Mac Innes y Dole, quienes fabricaron electrodos de un vidrio especial, con los que obtuvieron resultados muy satisfactorios.

Aunque son muchas las teorías que tratan de explicar el funcionamiento del vidrio como electrodo, hasta la fecha no se ha dado una interpretación definitiva, siendo la más aceptada la de Dole, donde se indica la existencia de una permeabilidad selectiva o una movilidad de los iones H en la interfase "vidrio-solución acuosa".

En resumen podemos decir que el electrodo de vidrio funciona como un electrodo de hidrógeno entre pH 1 y 10 (dentro de cierto límite de concentración de sales alcalinas), con muchas ventajas sobre éste y los otros electrodos conocidos.

Entre las ventajas señalaremos su aplicación a líquidos coloreados, turbios, oxidantes, reductores, con gases disueltos (CO_2), sistemas coloidales, substancias grasas y albúminas. Además

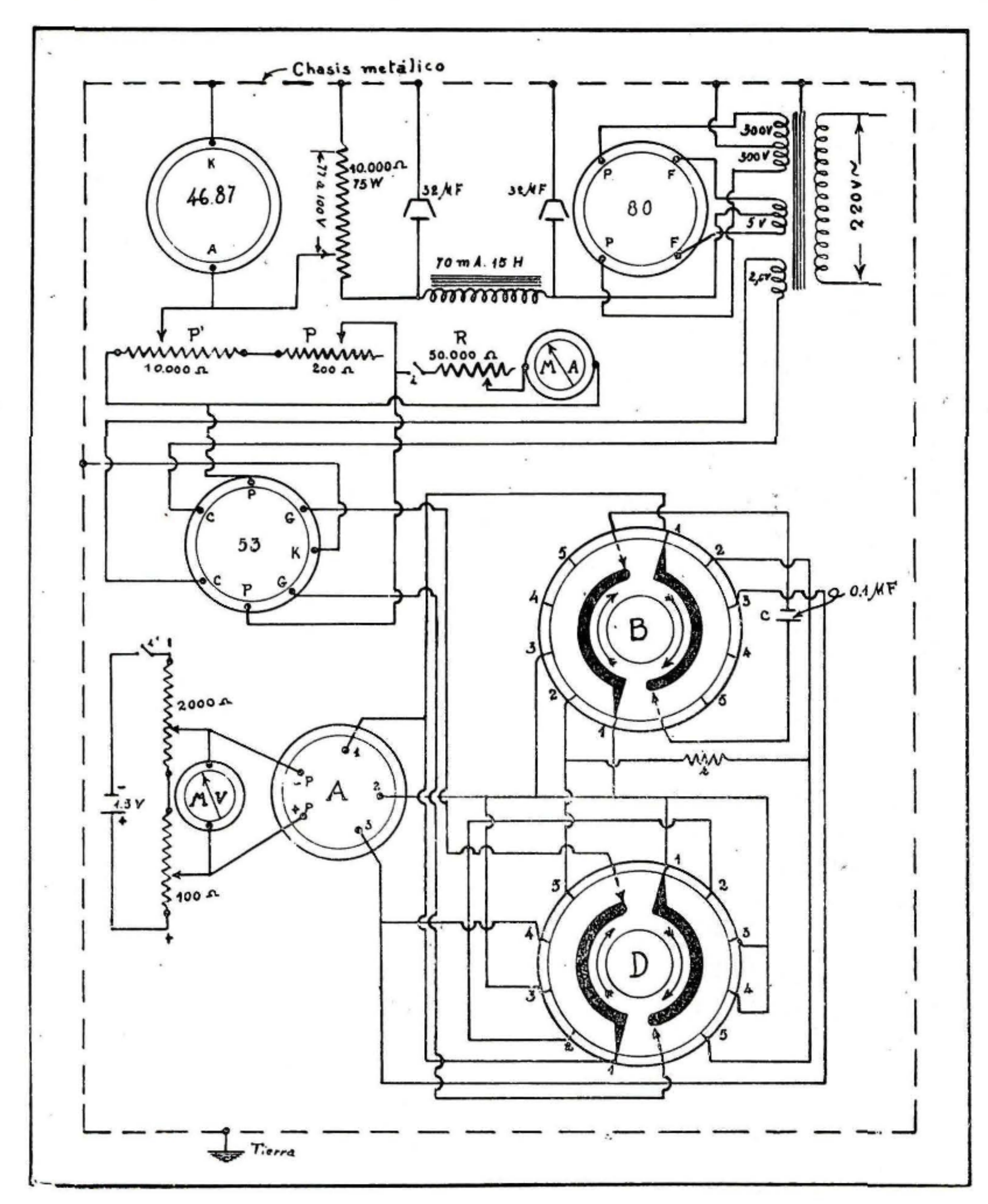


FIG. Nº 1

prácticamente no modifica el pH de los líquidos poco "buffer" (salvo en el caso de que se deje demasiado tiempo al electrodo sumergido).

Sus desventajas son la fragilidad de la membrana de vidrio, y su alta resistencia eléctrica, la limitación de la escala de pH, y su menor exactitud y regularidad, comparadas con la de los electrodos de hidrógeno o quinhidrona.

Referente a la fragilidad y a la resistencia eléctrica de los electrodos, la solución del problema consiste en construirlo de modo que ninguna de ellas sea exagerada, es decir que la resistencia física permita lavar y aún secar el electrodo con un paño suave, y que su resistencia eléctrica no sea superior a 30 ó 40 megaohms. Los electrodos que nosotros hemos utilizado son construídos con el vidrio de Mac Innes y Dole, conocido con el nombre de Corning 015, cuya composición es la siguiente: SiO_2 = 72 %; CaO = 6 %; Na_2O = 22 %.

La forma más común de estos electrodos es la de una ampolla, cuya esfera de 2 ó 3 cm. de diámetro es la parte activa construída con el vidrio especial, mientras que el cuello es de vidrio

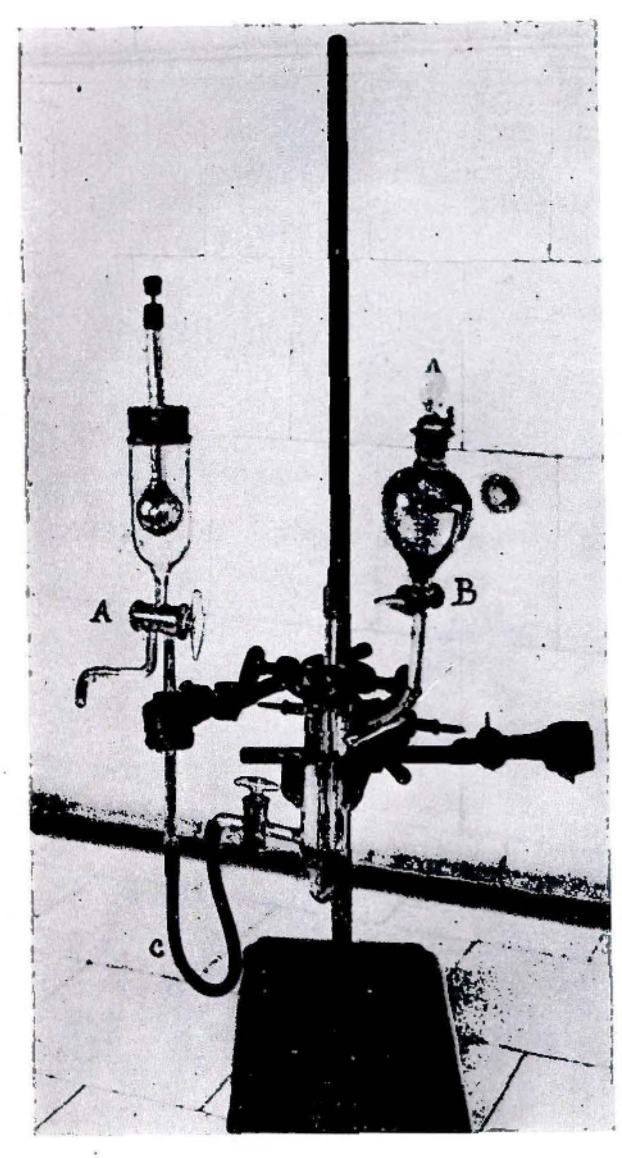


FIG. Nº 2

común. Actualmente existen en el comercio electrodos de vidrio (Schott y Gen) de muy baja resistencia eléctrica (0,3 a 1,2 megaohms), de los cuales hemos ensayado tres, siguiendo las normas generales aconsejadas para los electrodos de vidrio, obteniendo resultados poco constantes, lo que atribuímos a una marcada solubilidad del vidrio, pues también modifican sensiblemente el pH de los líquidos poco "buffer" por contacto hasta de pocos minutos (0,1 de pH en 2 ó 3 minutos).

Dos son los principales inconvenientes derivados de una alta resistencia interna en la media pila formada por el electrodo de vidrio: 1º) la necesidad de emplear galvanómetros de gran sensibilidad si se opera con un potenciómetro tipo común. 2º) La polarización del electrodo cuando se produce un pasaje de corriente a través de la pila.

Con el aparato que describiremos se pueden salvar estos inconvenientes, todo lo cual, unido a las ventajas antes citadas, hacen que el electrodo de vidrio sea una verdadera adquisición para las determinaciones de pH.

La construcción de la pila en base a un electrodo de vidrio, además de su combinación con el electrodo de referencia, exige un dispositivo para tomar el potencial producido en la pared interna del vidrio, lo que se consigue generalmente llenando el electrodo con un "buffer" en el cual se sumerge un electrodo auxiliar, que puede ser por ejemplo el de cloruro de plata o el de quinhidrona. Con el de ClAg aconsejamos emplear una solución "buffer" de ClH 0,1 N y ClNa 0,1 N en partes iguales, dentro de la cual se coloca un alambre de plata de unos 5 cm. de largo, al que previamente se le ha recubierto con una capa de cloruro de plata por electrolisis. Con este electrodo y el de calomel saturado como referencia, se pueden determinar pH superiores a 2 sin cambio de polo, pues siempre es negativo con respecto al de referencia.

Para la unión de los dos medios elementos por el puente electrolítico de ClK, se puede utilizar el dispositivo reproducido en la Fig. Nº 2 (comunicación privada e inédita del Dr. R. Vanossi). Este dispositivo permite realizar todo lo aconsejado para que el potencial de unión entre dos líquidos sea reproducible, es decir: una superficie horizontal de contacto relativamente grande (1 mm.^{2} o más) con la solución más densa debajo, y la renovación de la solución de ClK en la unión líquida, cada vez que se inicia una operación. Además es sumamente práctico para llenar, vaciar y limpiar el recipiente de las muestras, y también muy simple, pues sólo consiste en una cubeta unida por el fondo a una llave de doble vía *A* (fig. Nº 2) por medio de un tubo de aproximadamente 1 mm.^{2} de sección. En una posición de la llave la cuba se une con el exterior, para poder vaciar la cubeta y enjuagarla, y en la otra se comunica con el electrodo de calomel por el puente electrolítico de ClK saturado contenido en el tubo *C*. Al abrir la llave *B*, estando la *A* en la 2ª posición, el ClK sube a la cubeta, desalojando el líquido contenido en la parte tubular de la misma; luego se cierra *B* y se cambia de posición la llave *A*, con lo cual sale el exceso de ClK, quedando su nivel a la altura de la llave, por estar *B* cerrada.

En resumen, con este dispositivo, el aparato que

vamos a describir y un electrodo de vidrio de funcionamiento normal, se pueden hacer determinaciones de pH con una exactitud de 2 ó 3 centésimas.

Construcción del potenciómetro a válvula

La construcción del aparato (Fig. Nº 3) la hemos hecho en base a una publicación anterior (*), introduciendo las modificaciones necesarias para emplear la válvula "doble triodo 53", alimentada con corriente alterna de la red.

Todo el material necesario para construir el aparato es del tipo radiotelefónico de buena calidad, y de fácil obtención en plaza.

Para evitar confusiones vamos a dividir la descripción del aparato en tres secciones, indicando en cada una el material necesario y los detalles de construcción.

1ª Sección. Potenciómetro de oposición. Está constituído por dos potenciómetros de alambre, uno de 2.000 ohms con interruptor (Fig. Nº 1) y otro de 100 ohms; un milivoltímetro de 1 a 1,5 voltios de escala total, que permite apreciar un milivoltio, y una pila seca común de 1,5 voltios.

2ª Sección. Fuente de poder o alimentador. Consiste en un transformador, con tres bobinados en el secundario; uno proporciona 5 voltios 2 amperes, otro 2½ voltios y 2 ó más amperes, y el 3º, 600 voltios 70 miliamperes, con punto medio. Además se necesita; una válvula rectificadora 80 y su zócalo, dos condensadores electrolíticos de 32 μF. cada uno, una resistencia divisora de tensión de 10.000 ohms, 75 W., una impedancia de 70 mA. 15 Henrios y por último la válvula estabilizadora Philips Nº 4687, y el zócalo correspondiente.

La construcción de esta sección es sencilla, y el montaje de las diversas partes en el chassis metálico no requiere mayormente ningún cuidado especial.

3ª Sección. Aparato a válvula termoiónica propiamente dicho. Se requiere un panel de ebonita de 30 x 15 cm. y un "chassis" metálico de 30 x 30 cm. En el panel se ubican (como puede apreciarse en la Fig. Nº 3), los dos potenciómetros del circuito de oposición antes citado, dos potenciómetros (P y P', Fig. Nº 1) del circuito anódico, uno de 10.000 ohms y otro de 200; la resistencia variable *R* de 50.000 ohms con interruptor, para protección del microamperímetro, dos llaves de cambio *B* y *D* con dos polos, 5 posiciones, de material altamente aislador (isolantit); y finalmente un zócalo también de "isolantit" de cinco contactos (A, Fig. Nº 1) donde por medio de enchufes de 5 patas (base de una válvula inservible) se hacen las conexiones necesarias. La parte interna del panel se debe forrar con una lámina metálica, pero haciendo agujeros en los sitios donde van los potenciómetros

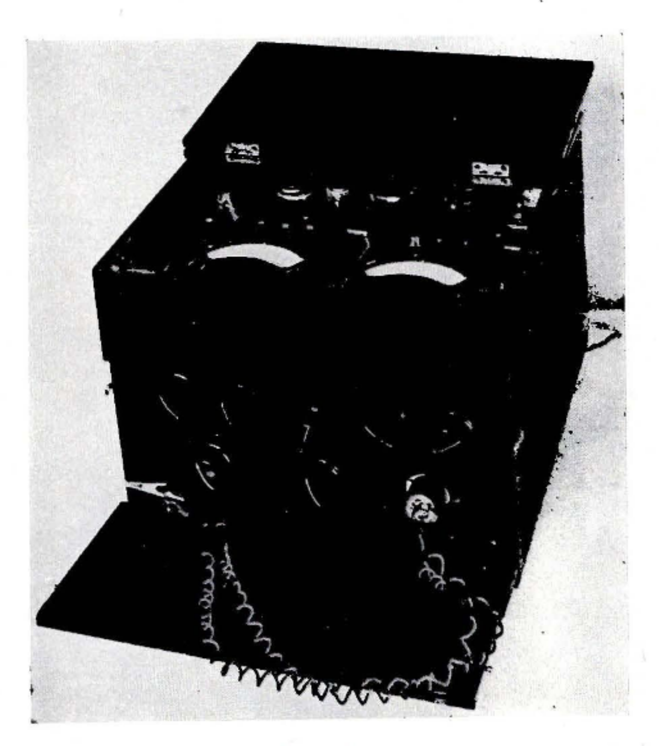


FIG. Nº 3

de modo que éstos queden alejados aproximadamente 1 cm. del metal. Las llaves de cambio pueden montarse directamente sobre éste, lo mismo el zócalo *A*, por ser material de alta aislación.

En el "chassis" metálico, además de la fuente de poder, se coloca el zócalo de "isolantit" para la válvula "doble triodo 53" y un condensador de mica de 0,1 μF (los de papel dan mal resultado), el cual se pone sobre aisladores de "isolantit" o sino sostenido por medio de los alambres de conexión que van a la llave de cambio *B*. (Fig. Nº 1). Lo mismo debe hacerse con la resistencia de grilla *r*, montándola de modo que sea intercambiable (de 1 a 4 megaohms). Los aparatos de medida, o sea el milivoltímetro y el microamperímetro (éste debe ser de 200 a 300 microamperes y permitir apreciar 1 ó 2 milésimas de su valor

(*) VANOSSI R. y BENGOLEA D.: "Voltímetro a válvula, etc.". *Anales de la Soc. Científica Arg.* E. II, T. CXXIX, enero de 1940.

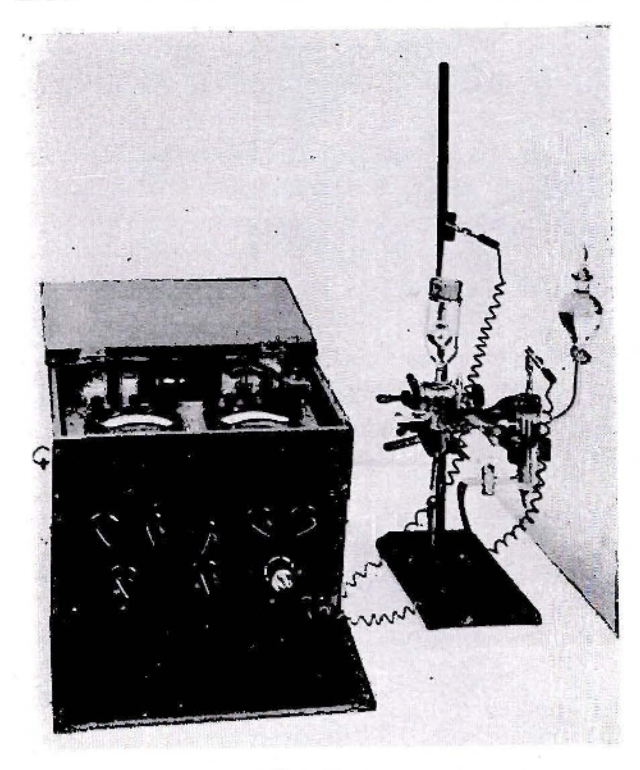


FIG. Nº 4

total) se colocan sobre un soporte metálico unido al "chassis".

Todo el conjunto se pone dentro de una caja de madera forrada interiormente con una lámina metálica, pudiendo hacer de frente de la caja, el panel de ebonita, o sino hacerle a aquélla una tapa que abra para abajo (Véase Fig. Nº 3).

El "chassis" y los revestimientos metálicos de la caja y del panel de ebonita, deben conectarse entre sí, de modo que la conexión con tierra se haga en un solo punto por medio de un borne exterior.

La pila seca de 1,5 voltios que alimenta al potenciómetro de oposición, se puede colocar dentro de la caja, aislándola por medio de parafina u otro aislador apropiado.

También es aconsejable poner dentro de la caja un recipiente chico de vidrio, para colocar un agente desecante, con el objeto de mantener una atmósfera seca.

La válvula 53 funciona bien en posición vertical, siendo conveniente montar su zócalo sobre goma, de modo que al mover las llaves de cambio, las vibraciones no influyan sobre ella. Lo mismo puede decirse del microamperímetro, por lo que también es necesario que el aparato sea lo bastante estable como para que no se produzcan vibraciones demasiado fuertes.

Como último detalle de construcción diremos que las soldaduras deben hacerse usando resina (nunca ácido) y que después se elimina ésta por medio del cloroformo en todos los sitios donde sea necesaria una alta aislación. Todo el material de "isolantit", la base de la válvula y el condensador deben limpiarse también con cloroformo después de hechas las conexiones, y luego aplicarles aire seco caliente.

Referente a la "pila a medir" formada como se ha visto por el electrodo de referencia y el de potencial desconocido, es necesario colocarla sobre material aislador (vidrio parafinado) el cual se pone encima de una lámina metálica conectada eléctricamente al terminal de "tierra" del aparato (Fig. Nº 4). Esto se hace para evitar la acumulación de cargas electroestáticas y las pérdidas por conductibilidad.

Funcionamiento

El aparato puede utilizarse empleando tres métodos, que denominaremos: directo; directo por oposición; y balístico por oposición.

El 1er. método se utiliza para potenciometría general, el 2º para determinaciones de pH con electrodos de baja resistencia interna (hidrógeno, quinhidrona) y el 3º para pH con electrodo de vidrio de alta resistencia.

Antes de conectar el aparato con la corriente de la red, debe cuidarse que el circuito del microamperímetro esté interrumpido (interruptor *i* de la resistencia *R*, Fig. Nº 1). A continuación se coloca la llave *D* en la posición *2*, si se va a trabajar con los "métodos directos", o en *5* si se desea emplear el "balístico". Luego se pone el potenciómetro anódico *P*, aproximadamente en el punto medio de su recorrido, y se cierra el interruptor *i* de la resistencia R, dejando ésta en su valor máximo (si se producen grandes desviaciones de la aguja del microamperímetro, se abre *i* nuevamente y se modifica el valor en *P* hasta conseguir desviaciones menores). Después de 2 ó 3 minutos de conectada la corriente, se va disminuyendo la resistencia *R* y modificando las posiciones de P y P', hasta que estando *R* en su mínimo, el microamperímetro marque cero.

Para operar con el método directo sin oposición, se aplican los polos positivos de la "pila a medir" y de una pila "standard" en el contacto *2* del zócalo *A*, (Fig. Nº 1) y los polos negativos en *1* y *3* respectivamente (en lugar de pila standard se puede conectar un potenciómetro calibrado).

Debe observarse (Fig. Nº 1) que la llave *D*, tiene dos posiciones (*2* y *3*) en las cuales las grillas del doble triodo están unidas. La posición *2* debe emplearse cuando al trabajar con los métodos directos, es necesario tocar la pila a medir o la standard, y la posición *3*, en la cual se encuentra también conectado el polo positivo de estas pilas, se utiliza para llevar a cero el microamperímetro, con lo cual se evitan anormalidades producidas por pequeñas fallas de aislación de las pilas, o efectos de capacidad sobre la válvula. En esta forma y partiendo del microamperímetro en cero con la llave *D* en la posición *3*, para medir la pila *1*, se coloca dicha llave en la posición *1*, deduciendo el valor de la f.e.m. por la intensidad *I* de corriente acusada por el microamperímetro, previa determinación del valor de *I* para la pila standard o el potenciómetro calibrado (posición *4* de la llave *D*). Es aconsejable construir la curva característica de la válvula (*I* en función de la f.e.m. aplicada) y contralorear periódicamente la parte de la curva que interesa en el momento.

Si la *I* pasa el límite de la escala del microamperímetro se puede disminuir la sensibilidad llevando *R* a un valor tal (permanente durante las mediciones) que permite tener *I* dentro de la escala para la mayor f.e.m. que se desee aplicar. Cuando se necesite una exactitud mayor que la así obtenida, deberá emplearse el método directo por oposición.

Para trabajar con este último método (método por oposición a cero o de Poggendorff) es necesario realizar las siguientes conexiones en el zócalo *A*: el polo positivo de la "pila a medir" se coloca en el sitio marcado con $+p$ (Fig. Nº 1), y $-p$ se une con el punto *2*, el polo negativo de la pila se conecta a *1* ó *3* indistintamente. Efectuadas estas conexiones se lleva a cero el microamperímetro con la llave *D* en la posición *3*, y luego se lleva a ésta a la posición *1* ó *4* según se haya conectado el polo negativo en *1* ó en *3* del zócalo *A*. Antes de cambiar de posición a la llave *D*, conviene proteger el microamperímetro con la resistencia *R*, e ir variando la tensión del potenciómetro de oposición y la resistencia *R* hasta que ésta y el microamperímetro estén en cero. El voltaje leído en el milivoltímetro indica la f.e.m. de la pila.

Estas mismas conexiones del zócalo *A*, se utilizan para trabajar con el método balístico, el cual consiste en cargar el condensador *c* (Fig. Nº 1), por medio del sistema en oposición "potenciómetro-pila", para luego descargarlo sobre las grillas del doble triodo. Cuando la f.e.m. del potenciómetro en oposición iguale a la de la pila, el condensador no adquirirá carga y por lo tanto al conectarlo con las grillas, el microamperímetro no acusará paso de corriente. Para este método se deja la llave *D* fija en la posición *5*, y se opera con la *B*, la cual tiene también *5* posiciones, pero sólo se utilizan *3* de ellas. De estas tres posiciones, la *1* y la *3* son para cargar el condensador con los sistemas de oposición "potenciómetro-pila a medir" o "potenciómetro-pila standard" (este último como control). La posición *2* de la llave *B* sirve para descargar el condensador sobre las grillas.

También aquí conviene proteger el microamperímetro al principio de la operación, con la resistencia *R*, de modo que los impulsos en aquél no sean muy grandes, luego y a medida que se vaya compensando la f.e.m. de la pila con la del potenciómetro, se disminuye *R* hasta alcanzar su valor mínimo.

El tiempo necesario de carga del condensador varía según la resistencia de la pila, por ejemplo, para electrodos de vidrio de 20 ó 30 megaohms bastan 3 ó 4 segundos al principio de la operación y 6 ó 7 segundos al final.

Se debe tener en cuenta también, que cerca del límite, y tanto más cuanto mayor sea la resistencia de la pila, el primer impulso obtenido después de dar un nuevo valor al potenciómetro de oposición, puede no ser el que corresponde (por retardo en la disipación del condensador), igualmente si se toca la pila mientras se efectúa la medición, se acumulan cargas que invalidan este impulso.

Por estas razones, al final de la medición conviene asegurarse de que si para un valor del potenciómetro se obtiene impulso hacia un lado, para otro valor de 1 mV. en más o en menos, el impulso debe ser para el otro lado.

En resumen, el aparato permite trabajar con una aproximación de 0,5 mV (aproximadamente 0,01 de pH) operando por oposición, y de 1 a 2 mV por lectura directa. En las determinaciones de pH con electrodo de vidrio (alta resistencia) es aconsejable lo que llamaríamos calibración del aparato y del electrodo, por medio de una serie de soluciones "buffer" de pH exactamente conocido; por ejemplo se determina el potencial de la pila empleando cinco o más soluciones "buffer" que com-

prendan valores de pH entre 2 y 9. Representando gráficamente estos valores en base al pH y a los milivoltios, es sumamente fácil saber el pH que corresponde a una solución que produce un cierto voltaje en la "pila a medir".

Este método tiene la ventaja de evitar todos los errores debidos a las asimetrías del electrodo de vidrio, de la válvula y del condensador, así como también pueden atenuarse los efectos debidos a la relativa exactitud de un voltímetro que no sea "patrón".

Aunque hemos dicho que con este método se incluyen los errores de asimetría de la válvula y del condensador, es necesario conocer estos valores para evitar que sean muy grandes, puesto que en ese caso existe mayor peligro de que se produzcan variaciones durante las mediciones.

Para determinar la asimetría de la válvula, se unen en el zócalo *A*, el terminal $+ p$ con el *2*, y el $- p$ con el *1*, y se trabaja por el método balístico usando la llave *B*, que carga en la posición *1* y descarga en la *2*. Si no se consigue la exacta oposición dando valores al potenciómetro, se invierten estas conexiones, es decir se une $+ p$ con *1*, y $- p$ con *2*. El número de mV leídos en el milivoltímetro para alcanzar el equilibrio es la asimetría de la válvula, más la del condensador. Invirtiendo los polos de este último y repitiendo la operación se puede establecer la asimetría de cada uno. La asimetría total no debe ser mayor de 2 ó 3 mV., si fuese superior a esta cifra se puede bajar disminuyendo la resistencia *r* entre grillas, pero sin llegar a valores que hagan perder sensibilidad al aparato. En caso de no ser posible disminuir de este modo la asimetría, es conveniente cambiar la válvula. La asimetría debe mantenerse igual o sólo 1 ó 2 mV. superior, cuando se intercala una resistencia de un valor aproximada al del electrodo de vidrio, entre las conexiones del zócalo *A* que van a la "pila a medir": por ejemplo entre $- p$ y *1*.

Aplicaciones del aparato en los análisis de agua.

Con el potenciómetro que hemos descripto, es posible hacer determinaciones de pH con una aproximación de 0,02-0,03 en aguas coloreadas, turbias, de poco poder "buffer" y con cloro libre. Además permite efectuar determinaciones potenciométricas de alcalinidad en aguas muy turbias, donde no es posible apreciar el viraje del metil-orange, y determinar boro, según el método de los "Standards" Americanos, con sólo algunas modificaciones.

BIBLIOGRAFIA

DOLE MALCOLM: "The theory of the glass electrode". *J. Am. Chem. Soc., 53,* 4260 (1931).

MAC INNES and DOLE: "The behaviour of glass electrode of different composition". *J. Am. Chem. Soc., 52,* 29 (1930).

VANOSSI R.: "La determinación potenciométrica de pH, electrodos de hidrógeno y quinhidrona".

VANOSSI R. y BENGOLEA D.: "Voltímetro a válvula doble triodo 6 C 8-G, para medir la f. e. m. de pilas de alta y baja resistencia". *Anales de la Sociedad Científica Argentina.* E. II. T. CXXIX. pág. 49, enero de 1940.

☆ ☆

☆

PURIFICACION DEL AGUA DE CONSUMO DESTINADA A LA CIUDAD DE BUENOS AIRES

por el Dr. **ADOLFO GONZALEZ POCCARD**

(De la Inspección General de Laboratorios, O. S. N.)

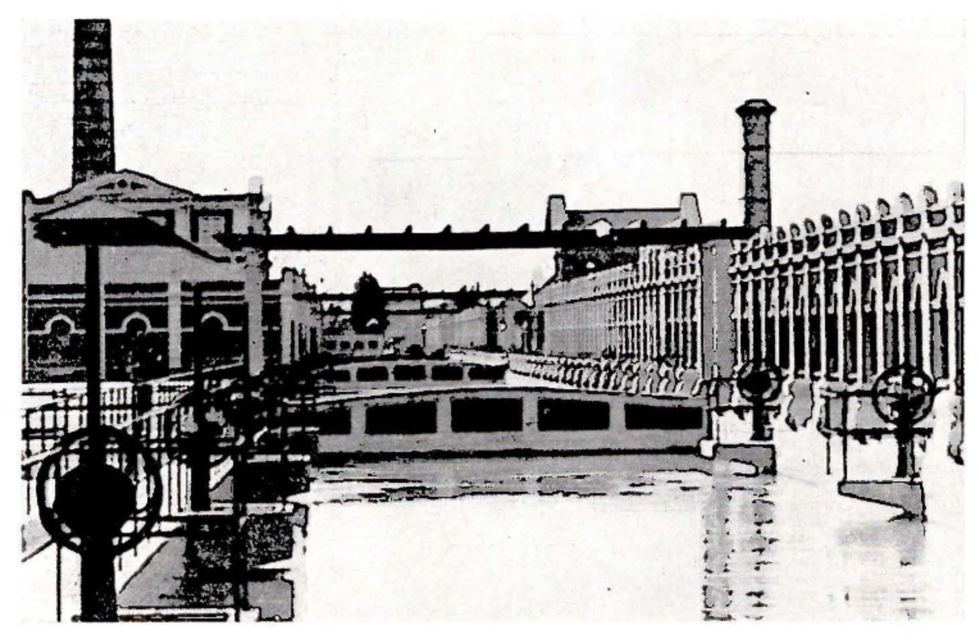
La ciudad de Buenos Aires para su provisión de agua potable se abastece exclusivamente del río de la Plata, cuyas aguas, contaminadas, coloreadas y cargadas de materia orgánica y arcilla, se someten a un tratamiento purificador antes de distribuirse por la red. Este proceso se lleva a cabo en un establecimiento dedicado al efecto y celosamente atendido a todas horas del día y de la noche, para proporcionarnos esa agua cristalina y bacteriológicamente pura que empleamos en nuestros usos domésticos.

Veamos en qué consiste ese tratamiento purificador y las diferentes fases del proceso (ver diagrama).

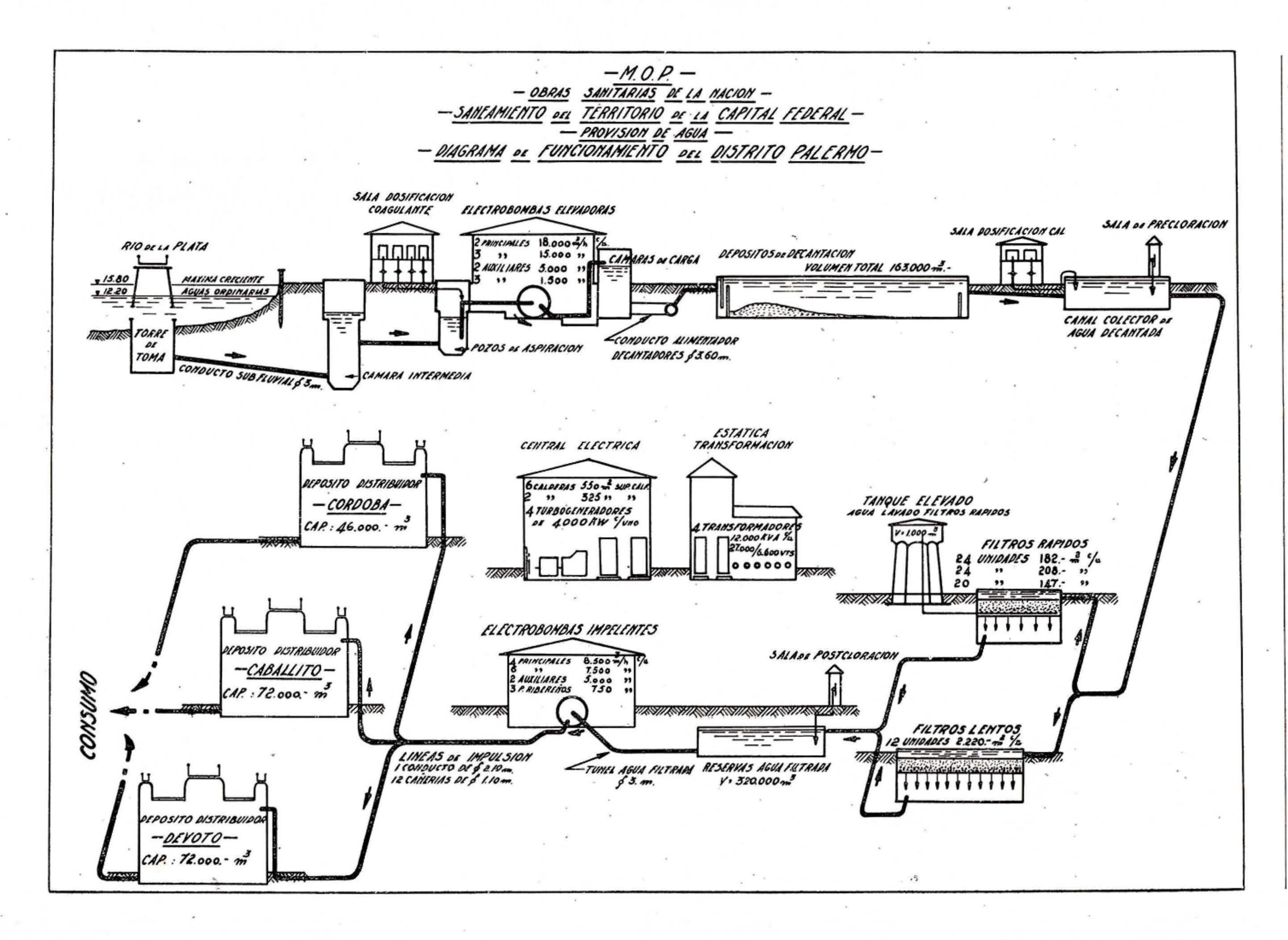
El agua ingresa al Establecimiento Palermo después de atravesar un enorme túnel subfluvial de 3 m. de diámetro, alimentado por la "torre de toma" ubicada en el río a unos 1.200 m. de la costa; esta agua que llamaremos natural, lleva en suspensión arcilla, materia orgánica, microorganismos, etc., que le confieren ese aspecto característico tan conocido.

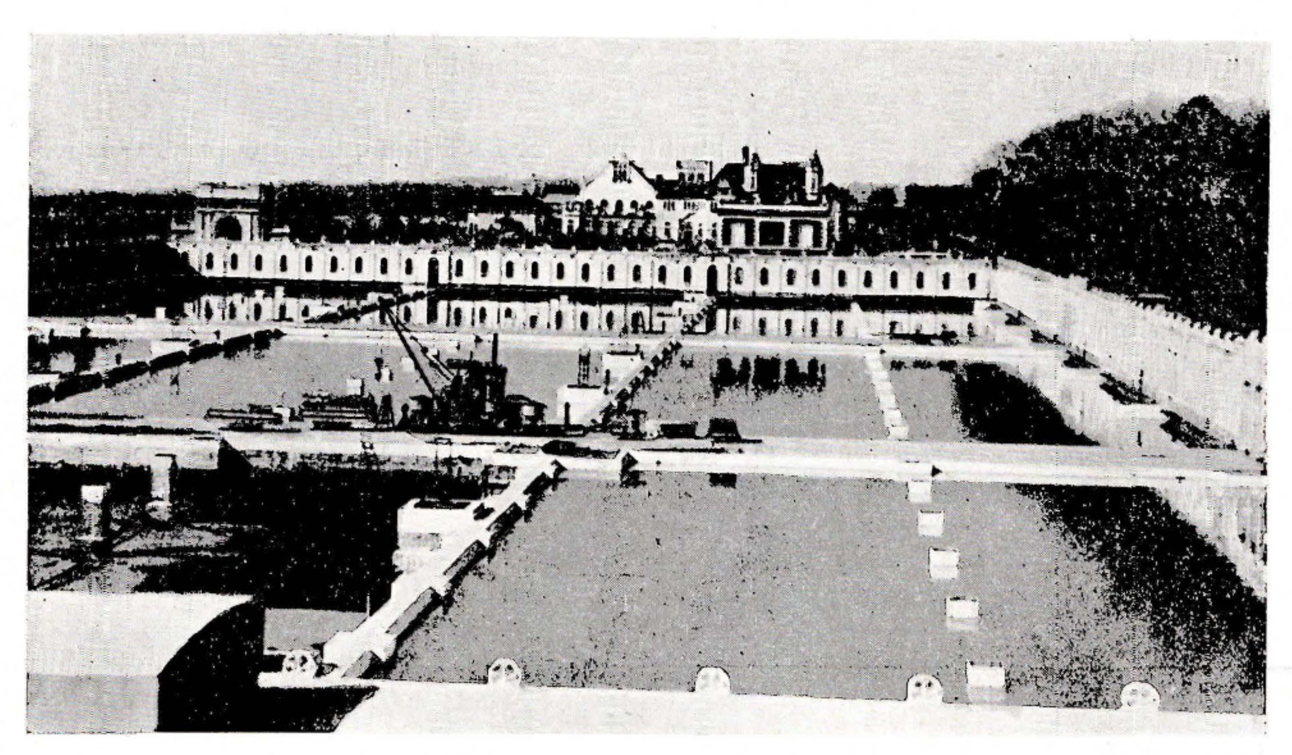
Inmediatamente el agua es elevada por poderosas bombas centrífugas hasta las "cámaras de carga" que provocan el desnivel necesario para la marcha ulterior del proceso purificador y donde aprovechando la agitación producida por sus rotores, se agrega el agente químico que logra la primera y más importante acción clarificadora al ponerse rápida e íntimamente en contacto con el agua, obteniéndose una distribución uniforme, que es la "dispersión".

Este reactivo químico, llamado en la práctica sanitaria "coagulante", es una solución de sul-



Canal colector del establecimiento de aguas de Palermo


—M.O.P.—
—OBRAS SANITARIAS DE LA NACION—
—SANEAMIENTO DEL TERRITORIO DE LA CAPITAL FEDERAL—
—PROVISION DE AGUA—
—DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DEL DISTRITO PALERMO—
RIO DE LA PLATA
15.80
12.20
MAXIMA CRECIENTE
AGUAS ORDINARIAS
TORRE DE TOMA
CONDUCTO SUB FLUVIAL ϕ 3 m.
CAMARA INTERMEDIA
SALA DOSIFICACION COAGULANTE
POZOS DE ASPIRACION
ELECTROBOMBAS ELEVADORAS
2 PRINCIPALES 18.000 m³/h c/u
3 " 15.000 "
2 AUXILIARES 5.000 "
3 " 1.500 "
CAMARAS DE CARGA
CONDUCTO ALIMENTADOR DECANTADORES ϕ 3.60 m.
DEPOSITOS DE DECANTACION
VOLUMEN TOTAL 163.000 m³.-
SALA DOSIFICACION CAL
SALA DE PRECLORACION
CANAL COLECTOR DE AGUA DECANTADA
CENTRAL ELECTRICA
6 CALDERAS 550 m² SUP. CALF.
2 " 325 " "
4 TURBOGENERADORES DE 4000 KW c/uno
ESTATICA TRANSFORMACION
4 TRANSFORMADORES
12.000 KVA c/u
27.000/6.600 VTS
TANQUE ELEVADO
AGUA LAVADO FILTROS RAPIDOS
V=1.000 m³
FILTROS RAPIDOS
24 UNIDADES 182.- m² c/u
24 " 208.- "
20 " 147.- "
DEPOSITO DISTRIBUIDOR
—CORDOBA—
CAP.: 46.000.- m³
DEPOSITO DISTRIBUIDOR
—CABALLITO—
CAP.: 72.000.- m³
DEPOSITO DISTRIBUIDOR
—DEVOTO—
CAP.: 72.000.- m³
CONSUMO
ELECTROBOMBAS IMPELENTES
4 PRINCIPALES 8.500 m³/h c/u
6 " 7.500 "
2 AUXILIARES 5.000 "
3 P. RIBEREÑOS 750 "
SALA DE POSTCLORACION
LINEAS DE IMPULSION
1 CONDUCTO DE ϕ 2.10 m.
12 CAÑERIAS DE ϕ 1.10 m.
TUNEL AGUA FILTRADA ϕ 3. m.
RESERVAS AGUA FILTRADA
V= 320.000 m³
FILTROS LENTOS
12 UNIDADES 2.220.- m² c/u



Filtros lentos con una sección en limpieza

fato de aluminio y el más empleado universalmente para el tratamiento de aguas de bebida y que, en contacto con los bicarbonatos del agua, forma hidróxido de aluminio, el que a su vez, por un proceso de neutralización de cargas eléctricas, conglomera la arcilla y otras mate-

TURBIEDAD

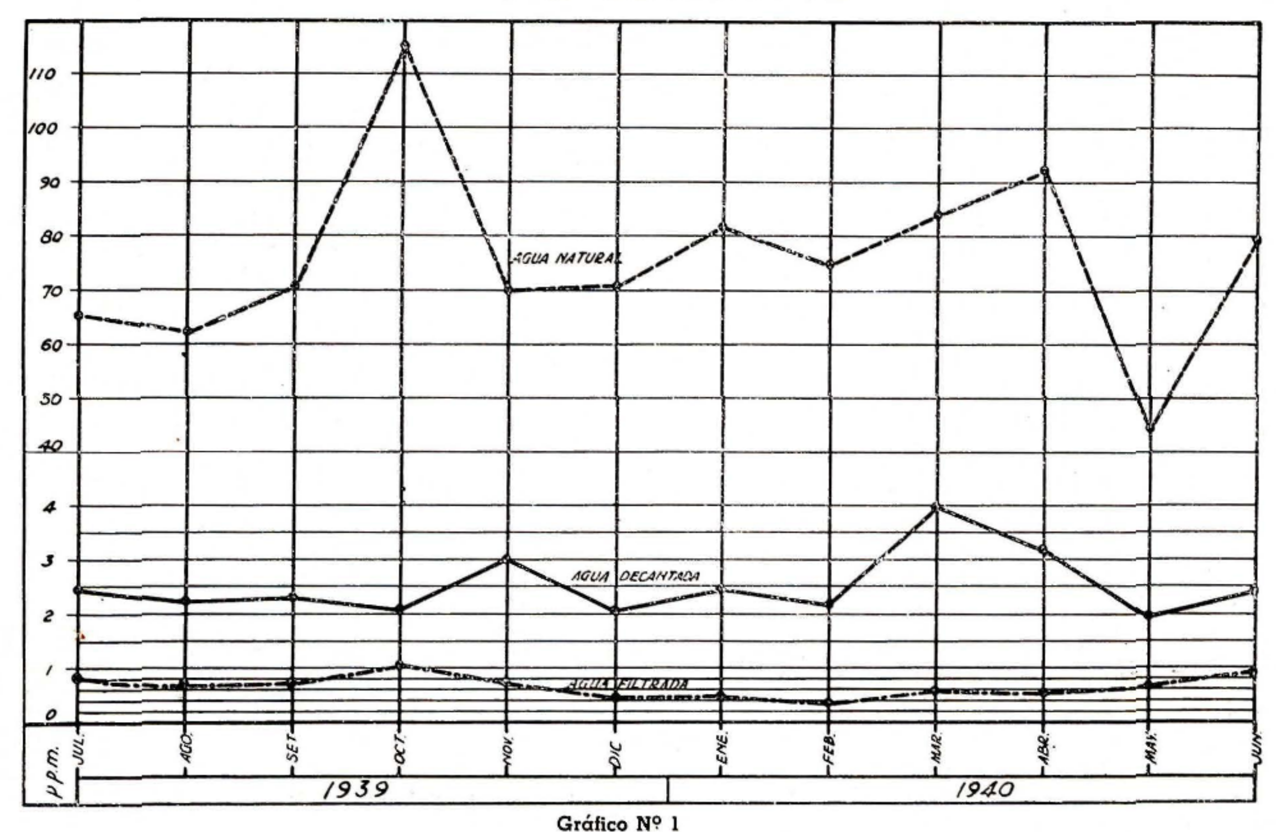
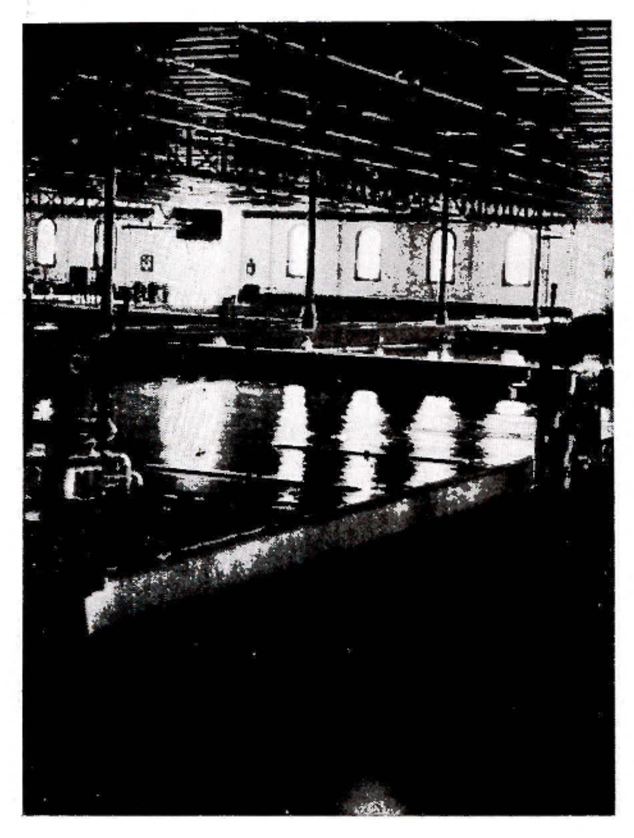


Gráfico Nº 1



Una sección de filtros rápidos

rias coloidales del agua, formando flóculos más o menos densos que sedimentan arrastrando las demás materias en suspensión que se encuentran en el agua y adsorbiendo otras.

El proceso de sedimentación de los flóculos formados tiene lugar en los decantadores, que son 12 grandes depósitos a bajo nivel, de 105 m. de largo con anchos variables entre 23 y 33 m. y profundidades también variables entre 4 y 7 metros, totalizando en conjunto 163.000 m^3 de capacidad, que permiten cumplir la sedimentación al disminuir la velocidad del agua, que tarda en recorrer cada uno, en promedio, 3 h. 40 minutos, lo que da una velocidad de 8 mm/s. (la velocidad aconsejada está comprendida entre 5 y 15 mm/s.).

Estos depósitos están provistos de sendas pantallas fronteras o chicanas que tienen por fin regularizar las corrientes de agua.

Estando bien dirigida esta operación, el agua pierde en ella la casi totalidad de las impurezas originales y el agua natural, que normalmente tiene entre 30 y 800 g/m^3 de turbiedad, expresada en sílice, rebaja ésta a límites comprendidos entre 0,5 y 3 g/m^3 cuando efluye de los decantadores, reduciendo el olor, color y los gérmenes que la impurifican (ver gráficos Nros. 1, 2 y 3).

La dosis de coagulante necesaria o dosis óp-



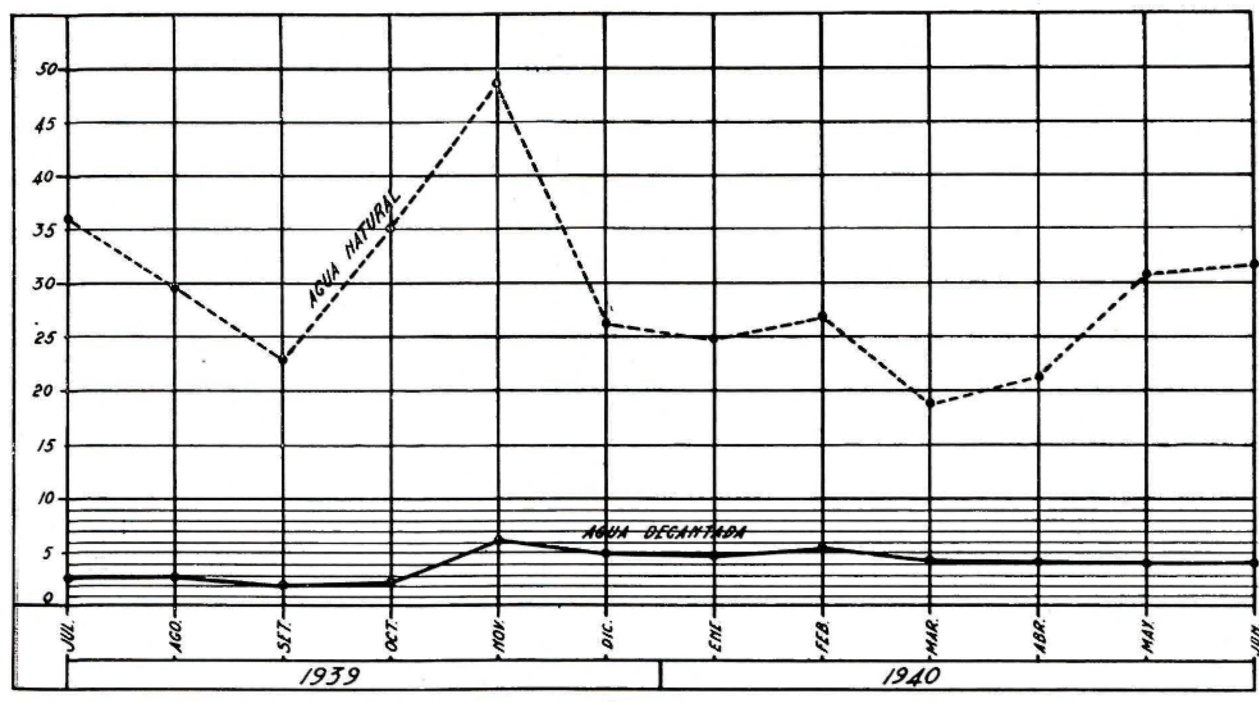


Gráfico Nº 2

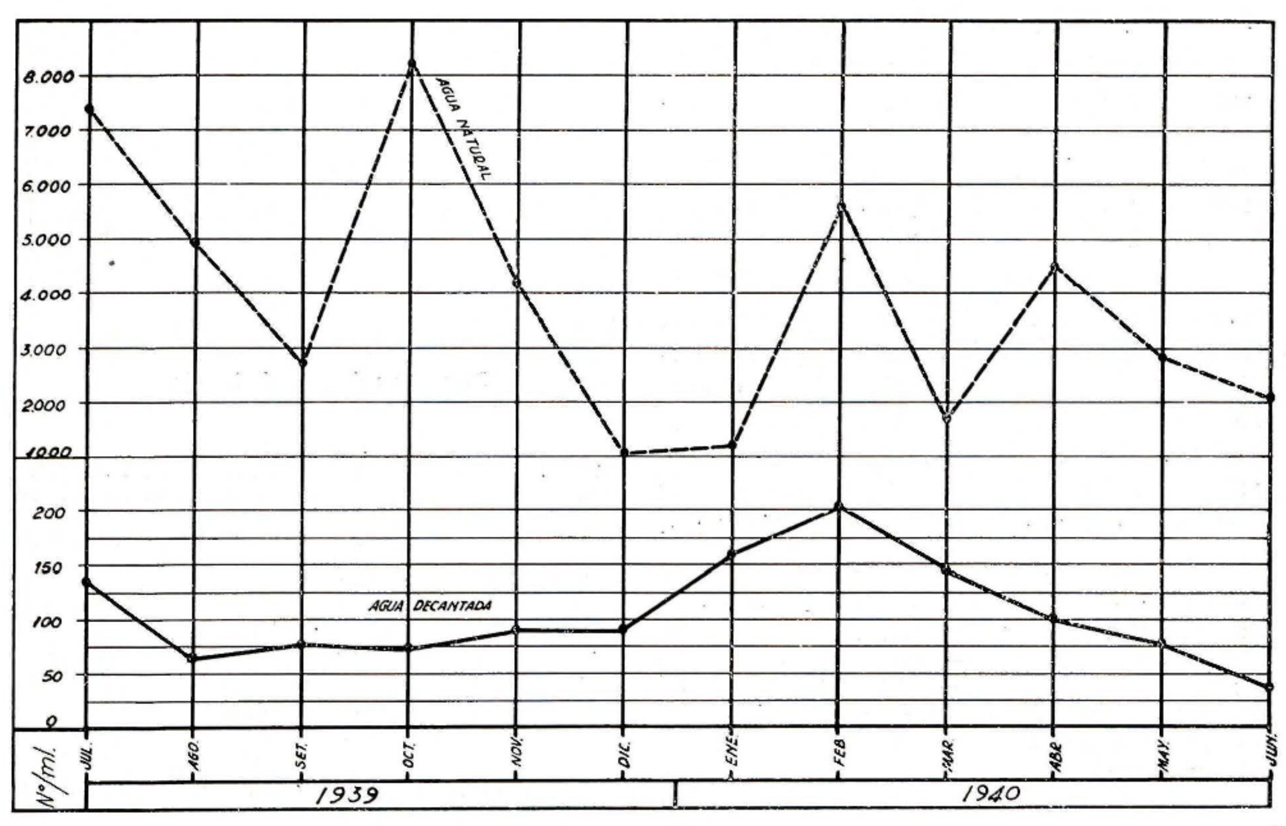


Gráfico Nº 3

tima, se determina permanentemente por ensayos horarios en el laboratorio del Establecimiento. Sobre varias muestras de 1 litro de agua natural, se efectúan estos ensayos, agregándoles dosis variables de solución al 1 % de coagulante y sometiéndolas a una agitación mecánica que equivale a la acción que recibe el agua en el Establecimiento. Luego de una sedimentación conveniente, se elige la menor dosis que ha producido la mejor muestra clarificada.

La importancia de estos ensayos estriba en dos razones: una de orden técnico que permite emplear la dosis mejor para formar un buen flóculo, base de una mejor clarificación; y otra de orden económico que permite emplear la mínima dosis de coagulante para tal fin.

Las dosis de coagulante empleadas normalmente oscilan entre 30 y 160 g./m³ que, aplicados a un bombeo medio de 1.000.000.000 de litros en 24 h. ocasiona un gasto promedio de 70 ton. de este producto en el mismo tiempo.

El agua decantada pasa luego a un canal colector (ver foto) donde se le agrega lechada de cal, en dosis variables entre 6 y 27 g/m³, expresado en OCa, a fin de lograr la neutralización del anhídrido carbónico que producido en la etapa anterior, por efecto del coagulante, provocaría la corrosión de las cañerías de hierro; de manera que el agua decantada que tiene pH 5,9 a 6,2 se eleva a pH 7,5 - 7,8 al ingresar a los filtros.

En el mismo canal se efectúa un primer agregado de cloro en dosis que varía de 0,15 a 0,25 g/m³ permitiendo que los filtros se mantengan en mejores condiciones de desinfección.

Del canal colector el agua pasa a los filtros donde pierde el resto de las materias en suspensión constituídas por flóculos deshechos o de poca densidad que han escapado a la sedimentación.

Actualmente los filtros son de dos clases: los lentos o de tipo inglés y los americanos o rápidos, más modernos, que son la mayoría, totalizando en conjunto 38.700 m² de superficie filtrante.

Una vez filtrada, pasa a las reservas, que son grandes depósitos con una capacidad de 320.000

m³ de donde se bombea para el consumo, previa una segunda desinfección con cloro que se agrega en solución concentrada en dosis variables entre 0,05 y 0,15 g/m³.

Los agregados de cloro se rigen también por ensayos previos sobre el agua decantada y filtrada, estableciendo lo que se llama "demanda de cloro" que consiste en determinar la dosis mínima de cloro que hay que agregar al agua para que actúe durante 10 minutos de contacto.

Esta parte del proceso en la purificación de las aguas se denomina desinfección y se efectúa siempre como medida de seguridad para prevenir contaminaciones accidentales, aún en el caso de que el agua simplemente filtrada tenga escaso contenido bacteriano y ausencia de gérmenes patógenos.

Pero no es esto solamente lo que exige el tratamiento del agua; hay una serie de operaciones auxiliares tan importantes como el proceso mismo, que es necesario mencionar.

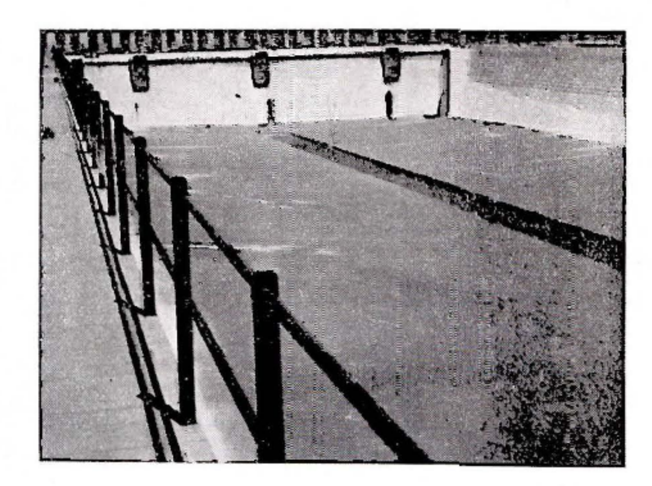
Como consecuencia de la decantación, los depósitos clarificadores reciben en depósito el cieno que aporta el agua y que, cargado de materia orgánica entra fácilmente en descomposición, aparte de que disminuye el volumen del decantador, por lo que es necesario limpiarlo periódicamente.

Esta operación se efectúa con agua decantada a presión, empleándose para tal fin el 0,8 % del agua tratada en los decantadores.

Otra operación accesoria no menos importante es la del lavado de los filtros.

Los filtros lentos, a velocidad normal de filtración de 0,1 m/s. rinden alrededor de 220 m³/h. cada uno, produciendo el 6 % del agua filtrada; los rápidos lo hacen en promedio a la velocidad de 3,3 m/h., produciendo en promedio 5.000 m³/h. cada batería, lo que da el 94 % restante del agua filtrada.

Como resultado de su mayor rendimiento, los filtros rápidos requieren limpiezas más frecuentes, operación que se logra con agua a presión, invirtiendo el sentido de la corriente del líquido en el filtro, que arrastra la materia en suspensión que el agua decantada deposita sobre el lecho al filtrarse. En esta operación se consume el 6 % del agua tratada.



Decantador después de lavado

Para combatir las algas que proliferan en toda corriente de agua superficial y que pueden dar origen a la formación de olores desagradables, se emplea un tratamiento alguicida que consiste en el agregado periódico de sulfato de cobre en la proporción de 2 g/m³ de agua tratada.

Todas las dosis de reactivos agregados por una u otra causa al agua, son controladas en el laboratorio de dosificación, así como las características del agua natural, decantada y filtrada, completándose la marcha de la purificación por el examen bacteriológico practicado por el laboratorio central de la Institución que asegura la máxima garantía de pureza del agua que se distribuye al consumo.

Pero, a pesar de que el agua tratada se suministra al consumo en inmejorables condiciones de potabilidad, no siempre llega al consumidor en estas condiciones y ello se debe al mal estado sanitario de ciertos artefactos en uso en las fincas, como ser depósitos, filtros, etc., que deben mantenerse en buen estado de higiene evitándose de esta manera la alteración que pueda sufrir el agua en sus características.

☆ ☆

☆

La coagulación ideada por el Dr. Trelles

POR LOS DOCTORES

DANIEL J. BENGOLEA y ADOLFO GONZALEZ POCCARD

(De Investigaciones Técnicas de O. S. N.)

Siendo la "coagulación" un proceso de gran importancia en la purificación de las aguas, se han realizado, en estos últimos años, grandes esfuerzos para mejorarla y para fijar más científicamente los distintos factores que intervienen en la misma.

El principal objeto de la "coagulación" es eliminar la turbiedad y el color de las aguas. La turbiedad está formada por partículas en suspensión relativamente grandes y por verdaderas substancias coloidales. El color, que también puede ser de origen coloidal, es eliminado en este caso por "coagulación" conjuntamente con la turbiedad, formándose un flóculo que contiene todos los coloides ya coagulados y las partículas más gruesas que han sido aglomeradas por él.

Entre los varios sistemas de "coagulación" empleados para purificar un agua se encuentra el conocido por el de la "doble coagulación", que en su origen consistía en agregar el sulfato de aluminio fraccionando la dosis total de coagulante necesaria, en dos: la primera fracción era del 60 al 75 % de la total, luego se decantaba y en la cabecera de un segundo decantador se añadía el resto de la dosis.

Posteriormente, la "doble coagulación" abarcó también el procedimiento que emplea el sulfato de aluminio y aluminato de sodio, suprimiendo la doble decantación y agregando primero el aluminato en proporciones determinadas, seguido del sulfato de aluminio con un brevísimo intervalo de tiempo entre cada agregado.

Otra de las mejoras en la "coagulación" es el uso de las sales de hierro, que según opiniones autorizadas produce un flóculo más pesado y, por lo tanto, de más fácil sedimentación.

El doctor Trelles, estudiando todos estos antecedentes, encontró que el emplear sulfato de aluminio en la primera fracción de la dosis y una sal de hierro en la segunda, con un pequeño intervalo de tiempo entre cada agregado, daba excelentes resultados en la "coagulación" del agua del río de la Plata. Los resultados de estos primeros ensayos aparecieron descriptos en este mismo Boletín (números 6 y 8), en dos notas publicadas por el ingeniero Ludovico Ivanissevich.

En la bibliografía consultada no hemos encontrado ningún procedimiento similar a la "coagulación" ideada por el doctor Trelles, ya que cuando se emplea la "doble coagulación" ésta se hace con coagulantes a base de aluminio solamente, y cuando se usa un coagulante de aluminio y otro de hierro éstos se agregan simultáneamente.

La "coagulación" formulada por el doctor Trelles combina pues dos procedimientos: el fraccionamiento de la dosis y el uso de las sales de hierro, y reúne las ventajas de ambos, dando resultados excelentes, como se verá más adelante.

Los ensayos que hemos efectuado hasta la fecha se realizaron de acuerdo al siguiente plan:

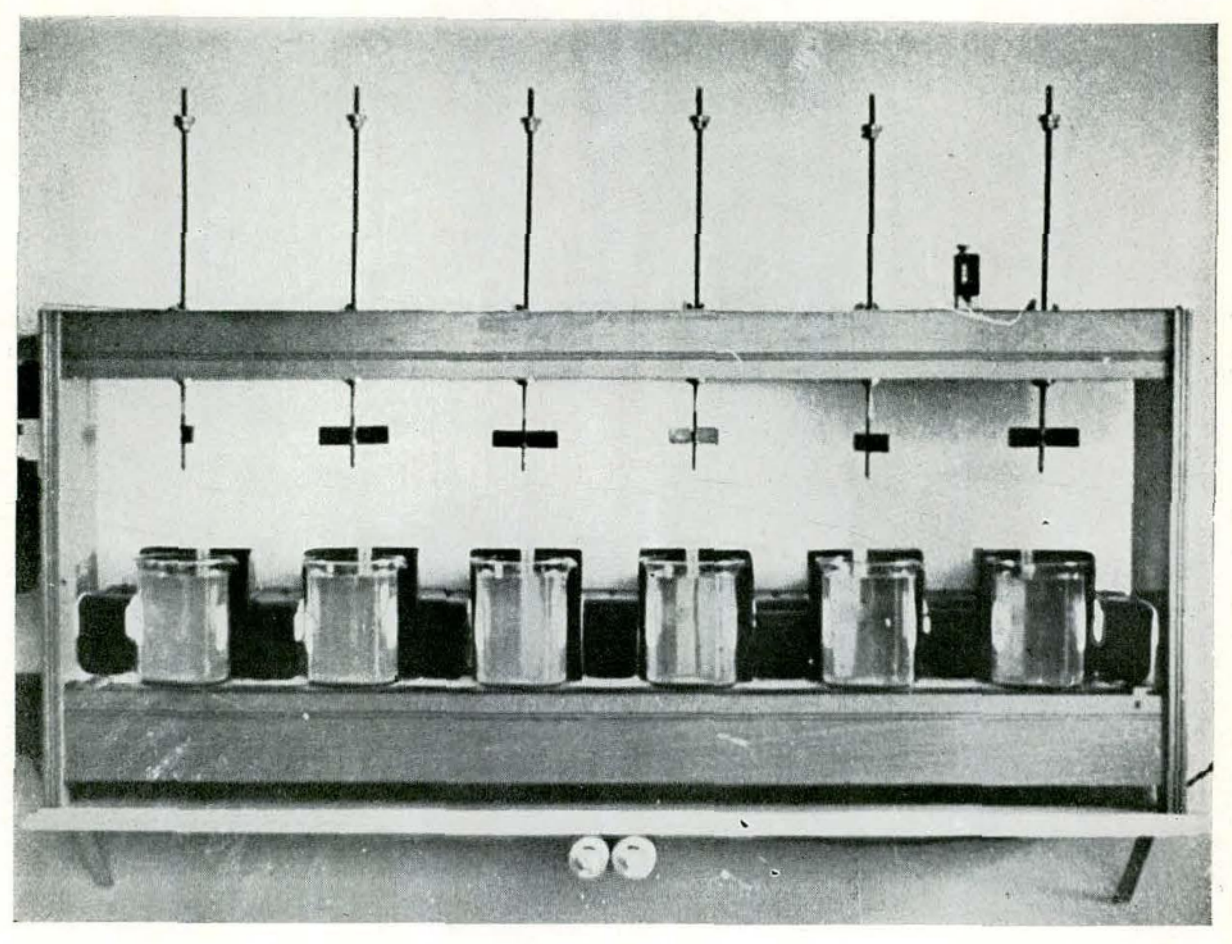


Fig. 1

1º *Determinar la dosis óptima para el sulfato de aluminio.*

2º Comparar el agregado de sulfato de aluminio, sin fraccionar, con el fraccionado.

3º Comparar el sulfato de aluminio fraccionado en su dosis óptima, con:

a) Sulfato de aluminio y cloruro férrico.
b) Sulfato de aluminio y sulfato férrico.

4º Determinar cómo debe fraccionarse la dosis para obtener los mejores resultados, y establecer así, cuando se usan ambos coagulantes, la relación de aluminio a hierro.

5º Determinar la influencia de la dispersión del coagulante por agitación violenta.

6º Determinar el intervalo de tiempo más conveniente entre el agregado de cada fracción de la dosis de coagulante.

7º Determinar la influencia del agregado previo de silicato de sodio activado (método Baylis) en los distintos coagulantes.

Teniendo en cuenta que el objeto principal de la "coagulación" es eliminar la turbiedad y el color del agua natural, solamente hemos comparado estos dos aspectos del agua decantada, determinándolos después de 45 minutos de sedimentación.

La dispersión del coagulante la efectuamos por agitación violenta, a 250 r.p.m. durante 10 segundos y después de cada agregado de coagulante, y la "floculación" durante 4 minutos, a 70 r.p.m.

Se determinaron la turbiedad, color, alcalinidad y pH del agua natural, como así también pH al agua final.

En los últimos ensayos se determinó el pH al agua después de añadir la primera fracción de la dosis.

Es de hacer notar que las soluciones de los coagulantes a base de hierro han sido preparadas y controladas por análisis, de modo que coagulantes a base de hierro han sido prepa- Fe_2O_3 en peso, que óxido de aluminio contenido en una solución al 1 % de sulfato de aluminio, o sean 18 gramos por 100 ml.

CUADRO Nº 1

Ensayo Nº	Turbiedad			Color		
	Agua Natural	Tratada con Sulfato de Aluminio		Agua Natural	Tratada con Sulfato de Aluminio	
		Sin Fraccionar	Fraccionado		Sin Fraccionar	Fraccionado
1'	90	6	5	22	4	4
2'	90	5	4	22	2	2
3'	95	8	5	18	2	3
4'	110	5	5	18	6	5
5'	96	8	6	14	4	2
6'	100	5	4	16	5	2
8	200	8	5	18	4	4
9	150	5	6	18	3	4
10	210	10	7	17	6	4
11	150	4	2	14	5	6
12	145	12	5	14	6	5
13	170	5	4	17	3	3
14	150	6	2	17	4	4
15	138	7	4	14	6	5
16	142	8	4	14	4	3

(') Significa que no se dispersó el coagulante.

En el caso del cloruro férrico cristalizado comercial, de 60 %, que tendría una riqueza en óxido férrico de 29,5 %, habría que multiplicar a los efectos del cálculo económico, el precio del mismo por el factor:

$$\frac{18}{29,5} = 0,61$$

es decir, que una tonelada de cloruro férrico de 60 % equivale a 1,64 toneladas del mismo producto con 18 % de óxido. Esto permite la comparación con el sulfato de aluminio.

Por lo tanto, cuando se habla de p.p.m. se debe entender que son p.p.m. de un producto con 18 % de óxido férrico.

El agua del río de la Plata, tratada en el Es-

CUADRO Nº 2

Ensayo Nº	Turbiedad				Color			
	Agua Natural	Agua tratada con:			Agua Natural	Agua tratada con:		
		SA+SA	SA+CF	SA+SF		SA+SA	SA+CF	SA+SF
8	200	5	2	3	18	4	4	5
9	150	6	3	3	18	4	4	4
10	210	7	3	4	17	4	5	5
11	150	3	3	3	14	3	3	4
12	145	5	4	4	14	5	4	5
13	170	4	1	1	17	3	4	4
14	150	2	0,5	0,5	17	4	4	5
15	138	4	1	2	14	5	5	5
16	142	4	2	2	14	3	4	4
17	113	5	1	2	18	4	5	5
18	155	5	1	2	14	2	3	3
19	105	4	1	1	18	3	4	4
20	110	3	0,5	0,5	21	3	4	4
21	127	4	1	1	22	3	4	5
22	130	3	1	1	18	3	4	5
23	128	4	1	1	18	3	4	5

SA + SA = Sulfato de aluminio fraccionado.
SA + CF = Sulfato de aluminio + cloruro férrico.
SA + SF = Sulfato de aluminio + sulfato férrico.

tablecimiento Palermo, tiene las siguientes características:

	Mínima	Máxima
Turbiedad (p.p.m.)	70	500
Color (p.p.m.)	12	30
Residuo a 105° C (p.p.m.)	100	250
Alcalinidad ($CaCO_3$) p.p.m.	25	70
pH	7,1	8,2

Los ensayos se hicieron en vasos de un litro y con el aparato agitador mecánico que se indica en la fotografía Nº 1.

Comparación entre el agregado de sulfato de aluminio sin fraccionar y fraccionado

Se determina la dosis óptima de sulfato de aluminio y luego se compara el agua obtenida con la tratada con igual dosis, pero agregada fraccionadamente. Los resultados pueden verse en el cuadro número 1 y gráficos números 1 y 2.

Comparación entre el sulfato de aluminio fraccionado, sulfato de aluminio + cloruro férrico y sulfato de aluminio + sulfato férrico.

Los ensayos comparativos empleando sulfato de aluminio fraccionado, sulfato de aluminio + cloruro férrico, y sulfato de aluminio + sulfato férrico, dieron los resultados que pueden verse en el cuadro Nº 2 y gráficos Nos. 3 y 4.

En estos ensayos se dejó un intervalo de un minuto entre cada agregado.

La fotografía Nº 3 da cuenta gráficamente del resultado obtenido con el sulfato de aluminio + cloruro férrico (izquierda), comparado con el sulfato de aluminio fraccionado, con un minuto de sedimentación, y la Nº 4 compara la sedimentación con estos mismos procedimientos, a los 20 minutos.

Fraccionamiento de la dosis de coagulante.

Para establecer cómo se debía fraccionar la dosis y al mismo tiempo obtener la relación aluminio a hierro, se eligieron entre los ensayos que ya se habían efectuado, aquellos que dieron agua de más baja turbiedad y color.

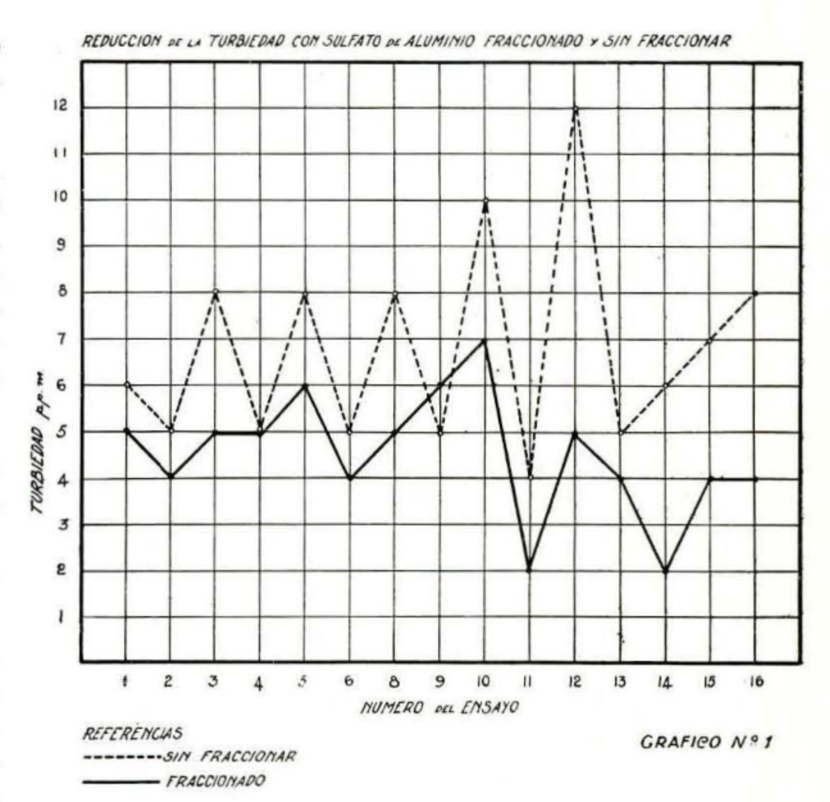


GRAFICO Nº 1

COMPARACION DEL COLOR EMPLEANDO SULFATO DE ALUMINIO FRACCIONADO Y SIN FRACCIONAR

GRAFICO Nº 2

REFERENCIAS — SULFATO DE ALUMINIO FRACCIONADO; ---- SULFATO DE ALUMINIO SIN FRACCIONAR

Como se observa en el cuadro que sigue (Nº 3), la relación de sulfato de aluminio con respecto a la dosis total, varió del 58 al 71 %; por lo tanto, la correspondiente de la sal de hierro estaba comprendida entre el 29 y el 42 %.

Por esta razón, para los ensayos realizados posteriormente, la dosis de sulfato de aluminio adoptada fué de los 2/3 de la total, correspondiéndole a la sal de hierro el 1/3 restante.

CUADRO Nº 3

Ensayo Nº	Dosis total $(SO_4)_3Al_2$	Dosis total Cl_3Fe	Relación % de sulfato de aluminio a dosis total	Turbiedad	Color
2	30	20	60	3	2
3	30	15	66	2	3
10	50	20	71	1	3
14	45	20	69	0,5	4
16	30	15	66	2	4
18	30	15	66	1	3
19	40	20	66	1	4
20	35	20	64	0,5	4
23	35	25	58	1	4

Influencia de la dispersión del coagulante.

Para determinar si era ventajoso dispersar el coagulante, después de cada agregado, por agitación violenta, se hicieron los siguientes ensayos comparativos; llegándose a la conclusión de que la dispersión a 250 r.p.m. y durante 10 segundos, era conveniente.

CUADRO Nº 4

Ensayo Nº	Turbiedad — Sulf. de Aluminio + Cloruro férrico		Color — Sulf. de Aluminio + Cloruro férrico	
	Sin dispersión	Con dispersión	Sin dispersión	Con dispersión
12	5	4	4	4
27	4	2	5	4
31	2	1	4	4
32	4	2	5	5
33	4	1	5	5

En vista de la mejora obtenida se decidió proseguir los ensayos aplicando previamente la dispersión del coagulante, que se efectuaba con el aparato representado en la fotografía Nº 2.



Fig. 2

Determinación del intervalo de tiempo más apropiado entre el agregado de cada fracción de la dosis.

Los ensayos para establecer el intervalo de tiempo más conveniente entre el agregado de cada fracción de la dosis, son los que se dan a continuación, en el cuadro Nº 5.

CUADRO Nº 5

Tiempo en segundos entre cada agregado	Agua tratada con Sulfato de Aluminio y Cloruro Férrico — Turbiedad	Color
30	3	2
45	2	2
60	2	4
90	1	2
120	1	3
180	2	4
240	2	4

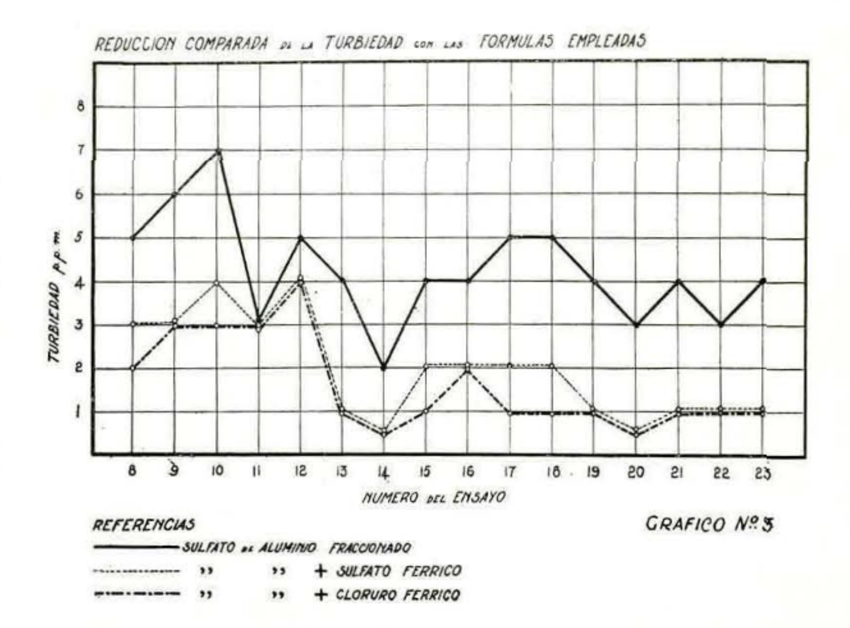
El mejor intervalo de tiempo estaba entre 90 y 120 segundos. Se adoptó para los ensayos posteriores el de 90 segundos por ser el menor y seguramente más aplicable en la práctica.

Influencia del silicato de sodio activado.

Como el doctor Trelles sugirió también que se hicieran ensayos para ver si aun era posible obtener mejoras en el agua decantada, agregando previamente silicato de sodio activado (método Baylis), se realizaron estos ensayos empleando sulfato de aluminio seguido de cloruro férrico con y sin agregado de silicato. Se obtuvieron los siguientes resultados: (Ver cuadro N° 6 y gráficos Nos. 5 y 6).

Las dosis de coagulantes empleados fueron un 22 % término medio menores en los ensayos con silicato de sodio.

En el cuadro anterior se puede observar que las turbiedades y el color han sido algunas veces superiores en los ensayos con silicato, pero hay que tener en cuenta que las dosis eran como se dijo 22 % menores; además, el tamaño de las partículas fué siempre mayor cuando se usó silicato.



Ensayos comparativos usando cloruro férrico o caparrosa clorada en la 2ª fracción de la dosis.

Siendo evidente y constante la mejora obtenida con respecto a la turbiedad del agua tratada, agre-

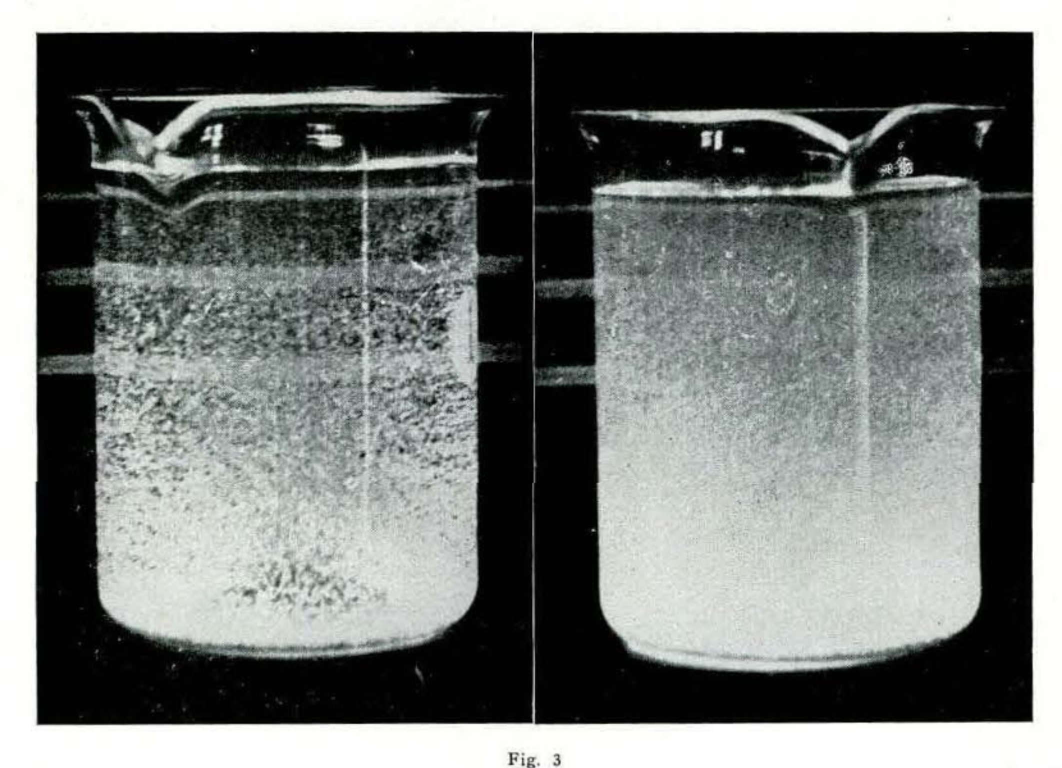


Fig. 3

Sulfato de Aluminio + Cloruro Férrico
1 minuto de sedimentación

Sulfato de Aluminio + Sulfato de Aluminio
1 minuto de sedimentación

gando primero el sulfato de aluminio y luego completando la dosis con una sal de hierro, y a pesar de que el color fué ligeramente superior en algunos casos, se continuaron los ensayos comparativos empleando para la segunda fracción de la dosis, cloruro férrico ó caparrosa clorada. Esta

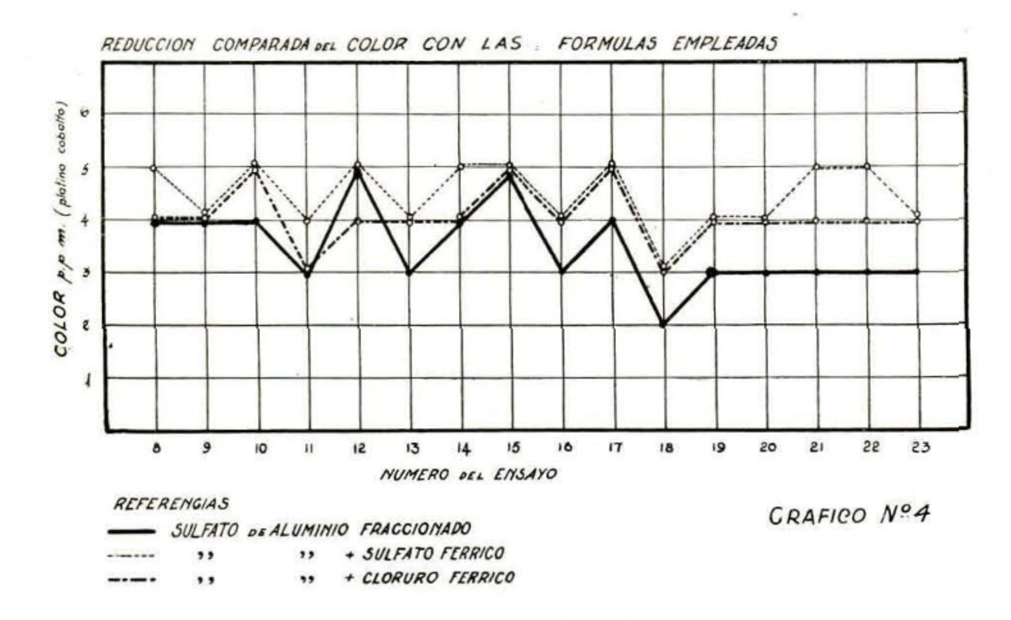


GRAFICO Nº 4

CUADRO Nº 6

Ensayo Nº	Turbiedad			Color			Tamaño de las partículas	
	Agua Natural	Con Silicato	Sin Silicato	Agua Natural	Con Silicato	Sin Silicato	Con Silicato	Sin Silicato
2	90	4	3	22	3	2	p.g	p.m
3	95	2	2	18	6	3	p.g	p.m
4	110	5	4	18	5	5	p.g	p.m
6	100	4	4	16	3	3	p.g	p.m
7	140	5	4	22	3	3	p.g	p.m
9	150	3	3	18	3	4	p.g	p.m
11	150	2	3	14	5	3	p.g	p.m
13	170	0,5	1	17	3	4	p.g	p.m
15	138	2	1	14	4	5	p.g	p.m

p.g. = partículas grandes.
p.m. = partículas medianas.

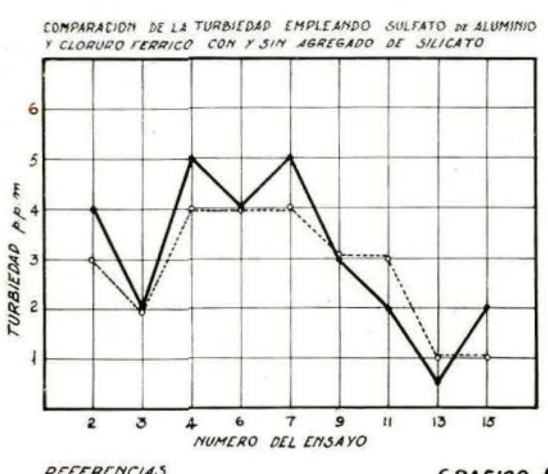


GRAFICO Nº 5

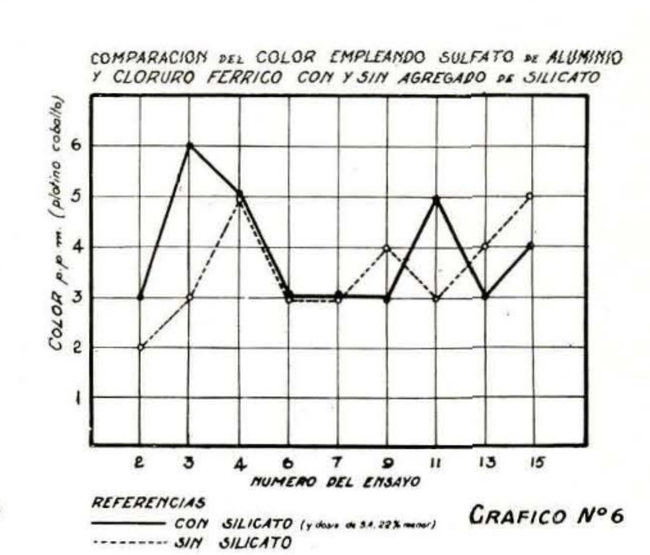


GRAFICO Nº 6

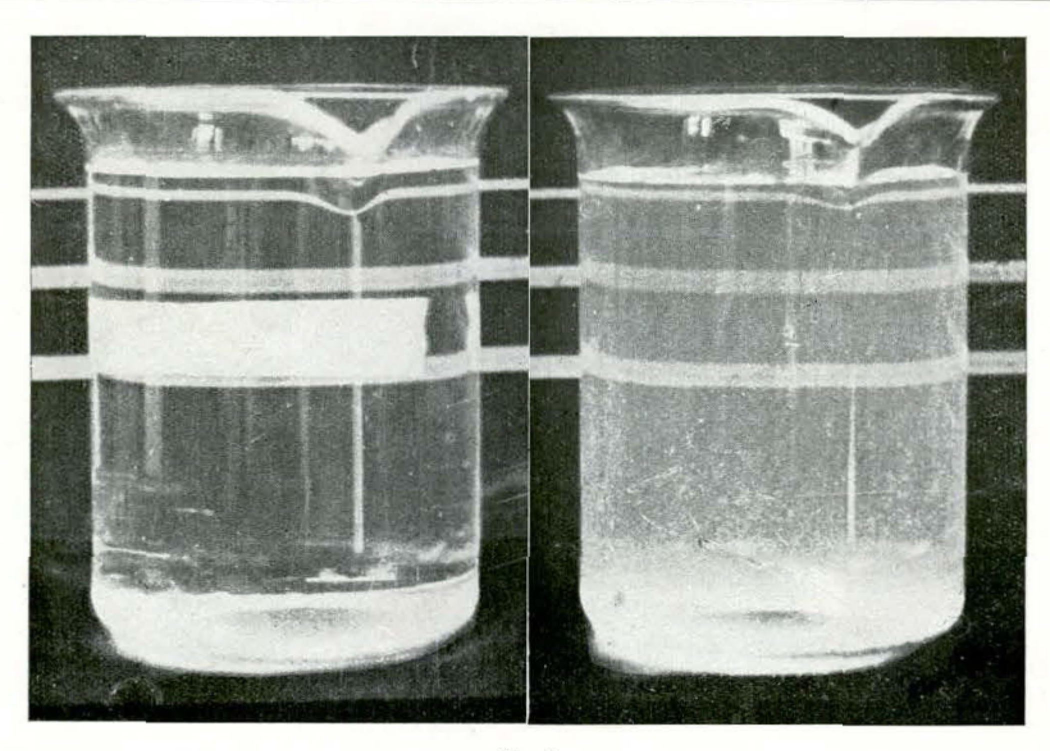
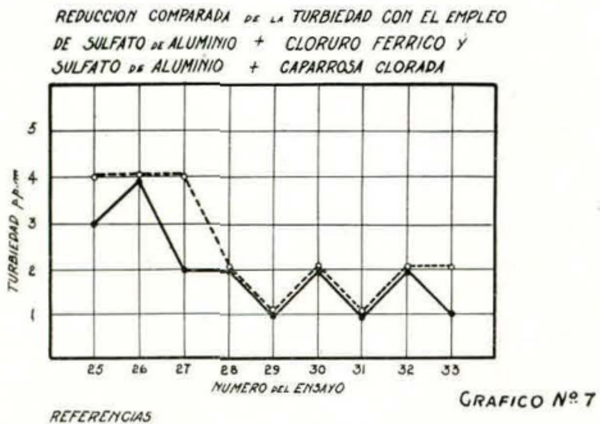
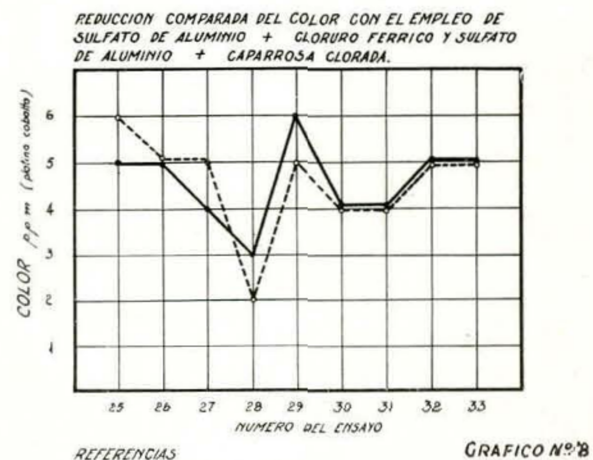


Fig. 4

Sulfato de Aluminio + Cloruro Férrico
20 minutos de sedimentación

Sulfato de Aluminio + Sulfato de Aluminio
20 minutos de sedimentación





CUADRO Nº 7

Ensayo Nº	Turbiedad			Color		
	Agua natural	Agua tratada con		Agua natural	Agua tratada con	
		SA+CF	SA+CC		SA+CF	SA+CC
25	110	3	4	18	5	6
26	130	4	4	21	5	5
27	135	2	4	18	4	5
28	185	2	2	18	3	2
29	150	1	1	18	6	5
30	150	2	2	18	4	4
31	160	1	1	18	4	4
32	200	2	2	20	5	5
33	310	1	2	18	5	5

SA + CF = Sulfato de aluminio + cloruro férrico
SA + CC = Sulfato de aluminio + caparrosa clorada.

última es una mezcla de cloruro y sulfato férricos, obtenida tratando el sulfato ferroso con cloro, según la siguiente reacción química:

$$6\ Fe\ SO_4 + 7\ H_2O + 3Cl_2 =$$
$$= 2\ Fe_2\ (SO_4)_3 + 2\ Fe\ Cl_3 + 42\ H_2O.$$

El cloro necesario es ⅛ de la caparrosa, prácticamente.

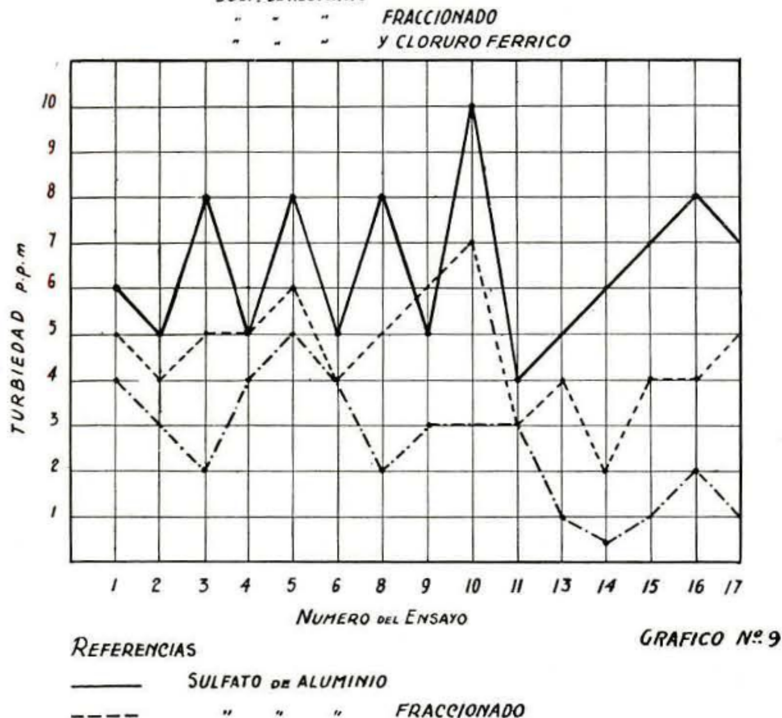
En el cuadro Nº 7 se dan resultados de 9 ensayos efectuados: (véase también gráficos Nº 7 y 8).



Estos ensayos demuestran, sobre todo los últimos, que no hay diferencia apreciable entre emplear cloruro férrico o caparrosa clorada en la segunda fracción de la dosis de coagulante.

En todos los ensayos el pH después del agregado de la primera fracción de la dosis se ha mantenido entre 6,1 y 6,4 y el pH final o sea con la dosis total de coagulante, entre 5,9 y 6,3, para la dosis óptima.

Cuando se agregó silicato de sodio se amplió la zona del pH óptimo hasta 6,5.



En el gráfico Nº 9 donde se comparan las turbiedades del agua tratada con sulfato de aluminio, con este mismo coagulante pero fraccionado, y con sulfato de aluminio y cloruro férrico, se ve claramente las ventajas que se obtienen con la "coagulación" sugerida por el doctor Trelles.

Aparte de estos ensayos y para ver si modificando el orden de los agregados de los diferentes coagulantes, así como variando las proporciones entre ellos, se obtenían también buenos resultados, se hicieron los siguientes con:

a) Mezcla de los dos coagulantes, el sulfato de aluminio y la sal de hierro antes de agregarlo al agua y añadir fraccionadamente esta mezcla.

b) Agregado simultáneo de los dos coagulantes.

c) Agregado de la sal de hierro antes que el sulfato de aluminio, conservando las proporciones usadas en los ensayos anteriores, o sea 2/3 de sal de aluminio y 1/3 de sal de hierro.

d) Agregado de la sal de hierro en la proporción de los 2/3 de la dosis total y después el sulfato de aluminio hasta completar ésta.

e) Fraccionamiento de la dosis en tres y cuatro partes, con intervalo de un minuto entre cada fracción.

Todos estos ensayos dieron malos resultados comparándolos con los que da la "coagulación" formulada por el doctor Trelles, siendo actualmente motivo de estudio las causas que los produjeron y que oportunamente daremos a conocer en una segunda publicación, así como los resultados obtenidos con cloruro de aluminio que, por sugestión del Sr. Director del Departamento Técnico, se utilizará en sustitución del sulfato de aluminio en unos ensayos, y en reemplazo del cloruro férrico o de la caparrosa clorada, en otros.



UN NUEVO PROCEDIMIENTO DE COAGULACION EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS
(COAGULACION FRACCIONADA)

por los doctores:

R. A. TRELLES, D. J. BENGOLEA y A. GONZALEZ POCCARD

(de Investigaciones Técnicas, O. S. N.) (1)

"En el número 6, año I (1937), diciembre, del BOLETÍN DE LAS OBRAS SANITARIAS DE "LA NACIÓN y posteriormente en el número 8, Año II (1938), febrero, pág. 136-137, el "Ing. Ludovico Ivanissevich publicó las primeras experiencias efectuadas por nosotros so-"bre coagulación fraccionada con agua del Río de la Plata, combinando dos coagulantes: "sulfato de aluminio y cloruro férrico, con o sin agregado de silicato de sodio, procedi-"miento que denominó *"Coagulación Trelles"*. Posteriormente, en el número 10, año II (1938), "abril, dos de nosotros (Bengolea y González Poccard) dimos cuenta de una serie de experien-"cias de laboratorio, realizadas aplicando este sistema de coagulación. Sobre este mismo tema "apareció un trabajo del Ing. Ludovico Ivanissevich, citando las ventajas del proceso, obte-"nidas en las experiencias realizadas en el Establecimiento Palermo en escala natural (véase "BOLETÍN DE OBRAS SANITARIAS DE LA NACIÓN, año II, Nº 14 (1938), agosto, pág. 136; "y por último una publicación del Doctor Atilio A. Bado que se refiere a aquellas "experiencias (BOLETÍN DE LAS OBRAS SANITARIAS DE LA NACIÓN, año II, Nº 16 (1938), "octubre, pág. 381-396)".

"Creemos que la publicación en forma detallada del proceso propuesto, servirá para su "mejor comprensión, tanto por los técnicos del país como del extranjero; y esperamos que "sobre el mismo se hagan todas las críticas y observaciones que se crean oportunas, que, a no "dudarlo, serán tanto más fundadas cuanto mejor se conozca el proceso".

El estudio de la coagulación en las aguas ha merecido por parte de los técnicos, en estos últimos años, preferente atención, especialmente cuando se trata de aguas difíciles para obtener una buena coagulación.

En nuestro caso, el agua del Río de la Plata (2), agua que permite *una fácil coagulación,* justifica esta preocupación sólo cuando se piensa que se están empleando anualmente en el tratamiento de la misma cerca de 25.000 toneladas de sulfato de aluminio.

Todo lo que se investigue para tratar de disminuir ese consumo de coagulante y además, si es posible, mejorar las condiciones del agua decantada, se traducirá, como es lógico, en una economía efectiva, tanto más apreciable si consideramos que una mejor agua decantada va a influir considerablemente en el proceso posterior de la filtración, permitiendo mayores carreras de los filtros y con ello también menor gasto de agua de lavado, etc.

El primer factor que debe considerarse en el proceso de la coagulación en las aguas, es el de obtener una buena y rápida mezcla inicial del coagulante con el agua a tratar, de manera que se cumplan estos dos requisitos:

1º) Ajustar la dosis de manera de no emplear un exceso de coagulante; y

2º) Que los coágulos que se formen sedimenten lo más rápidamente posible y en forma tal, que no quede coágulo fino en suspensión.

Las experiencias que venimos efectuando, desde hace casi un año, las hemos realizado preferentemente con el agua del Río de la Plata, la cual tiene las siguientes características físico-químicas:

(1) Obras Sanitarias de la Nación, República Argentina.

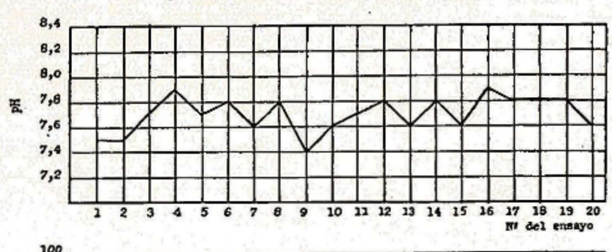
(2) La ciudad de Buenos Aires tiene un consumo diario máximo superior a un millón de metros cúbicos para una población de 2.500.00 habitantes.

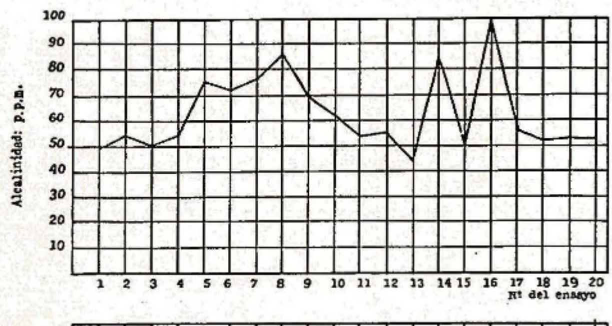
CUADRO Nº 1

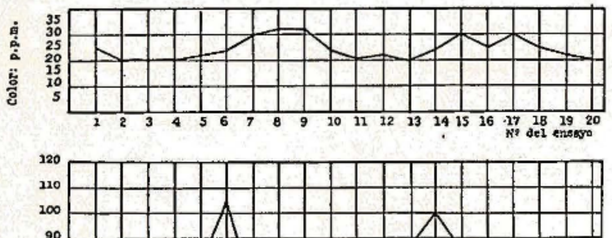
Determinaciones efectuadas con los métodos "standards"

	Mínimo	Máximo
Color p.p.m.	12	50
Turbiedad p.p.m.	25	500
pH	7,1	8,2
Dureza: p.p.m.	20	60
Alcalinidad p.p.m.	25	100
Sólidos disueltos p.p.m.	100	300

VARIACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL AGUA NATURAL EMPLEADA EN LOS 20 ENSAYOS SOBRE COAGULACION FRACCIONADA







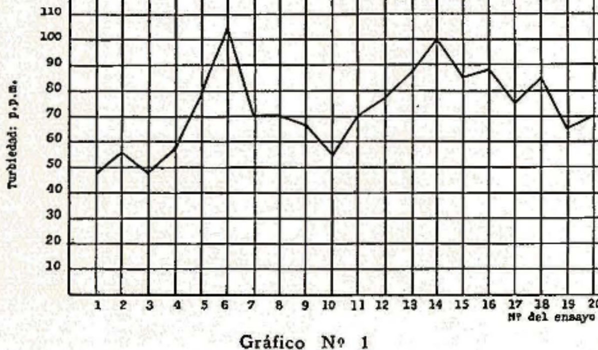


Gráfico Nº 1

Hemos aplicado también el procedimiento en estudio, a las aguas de los ríos Paraná y Colastiné, con buen resultado, pero en esta nota nos referimos exclusivamente al agua del Río de la Plata.

El agua del Río de la Plata no se presenta con características físicas y químicas constantes; varía frecuentemente, y a veces en pocos minutos, en especial su alcalinidad, turbiedad y pH. Estas variaciones están influenciadas notablemente por las bajantes y crecientes del río, por las lluvias, etc.

Se trata, como puede verse en el cuadro Nº 1, de un agua de baja mineralización, que tiene en suspensión tierra arcillosa y una proporción bastante elevada de materia orgánica de origen vegetal, que le comunica un color pardo-amarillento, más o menos pronunciado.

La turbiedad de esta agua se encuentra, según las experiencias realizadas por nosotros, al estado de una verdadera suspensión y si bien se deposita una gran parte de la misma por sedimentación simple, su eliminación previa no influye mayormente en las posibles disminuciones de la dosis del coagulante. Además, en las aguas presedimentadas de este tipo, el coágulo que se forma es poco denso.

En cuanto al color del agua natural, está constituido, como se ha dicho, por materia orgánica, de la cual debe encontrarse una parte en forma coloidal y otra en forma de verdadera disolución.

Filtrando el agua por membranas de colodio (1) con distintos tamaños de poros, previamente eliminada la materia en suspensión por bujía Berkefeld (común), nos encontramos que un agua con 19 p.p.m. de color dá:

	Color remanente
Ultrafiltrada por membrana con poros 1,6 μ	12
" " " " " 0,8 μ	8
" " " " " 0,3 μ	6
Centrifugada a 3.000 r.p.m. durante 15 min.	19
" " 25.000 " " 10 "	19

Vemos pues que parte del color se elimina y aunque el tamaño de los poros es mayor que el necesario para retener los coloides, es posible que hayan influido fenómenos de absorción y que en realidad la parte eliminada sea coloidal.

El agua natural sin filtración por bujía también se centrifugó a 3.000 revoluciones por minuto, desapareciendo prácticamente toda la turbiedad, no así el color, que se mantuvo en 19 p.p.m. La misma agua se centrifugó luego a 25.000 revoluciones, obteniéndose un agua perfectamente límpida, pero con color de 19 p.p.m., igual que la natural, lo que nos indica que la turbiedad no es coloidal, pero que el color puede ser o bien coloidal o estar al estado de solución verdadera.

Debemos aclarar que en todos los trabajos efectuados hasta la fecha sobre coagulación se había

(1) Determinaciones efectuadas en el Instituto Bacteriológico D. N. H. por el Sr. Simón Lajmanovich.

CUADRO Nº 2

Influencia del tiempo de agitación (floculación) (sin dispersión previa) en el proceso de la coagulación

AGUA NATURAL				AGUA TRATADA				
Número del ensayo	Alcalinidad *en carbonato* de calcio p.p.m.	pH	Turbiedad (Jackson) p.p.m.	Dosis *de sulfato* de aluminio p.p.m.	Tiempo de agitación — Turbiedades p.p.m. (Método standard) 5'	10'	15'	pH
1	45	7,6	48	20	18	12	8	6,9
2	47	7,7	54	25	8	3	2	6,9
3	49	7,6	42	20	19	8	6	7
4	44	7,5	50	25	17	7	5	6,8
5	45	7,6	60	25	17	5	2,5	6,9
6	46	7,4	53	30	6	2,5	2	6,8
7	75	7,7	77	60	8	6	3	6,6
8	86	7,8	70	70	14	8	5	6,6
9	99	7,9	88	85	19	8	5	6,7
10	38	7,3	98	20	17	5	2,5	6,8

comprobado que la agitación (floculación), después del agregado del coagulante, influía en la formación del coágulo, pero no se tenían datos comparativos sobre la influencia de la dispersión inmediata del coagulante (agitación violenta), ni de cómo influía ésta sobre el proceso posterior de la "floculación". Tampoco se sabía si una gran dispersión podría ser o no beneficiosa, o si podría llegarse a un límite en que la misma resultara contraproducente.

También teníamos muy arraigada la idea de que cuando se trataba de un agua con una dosis inicial insuficiente de coagulante, si se agregaba luego la cantidad restante que se suponía necesaria, era ya muy difícil obtener una buena coagulación, hecho que, como veremos más adelante, está en contradicción con las experiencias de la coagulación fraccionada, en la que, bajo ciertas condiciones, se agrega primero una dosis insuficiente de coagulante, y luego se la completa con un nuevo agregado, obteniendo muy buenos resultados.

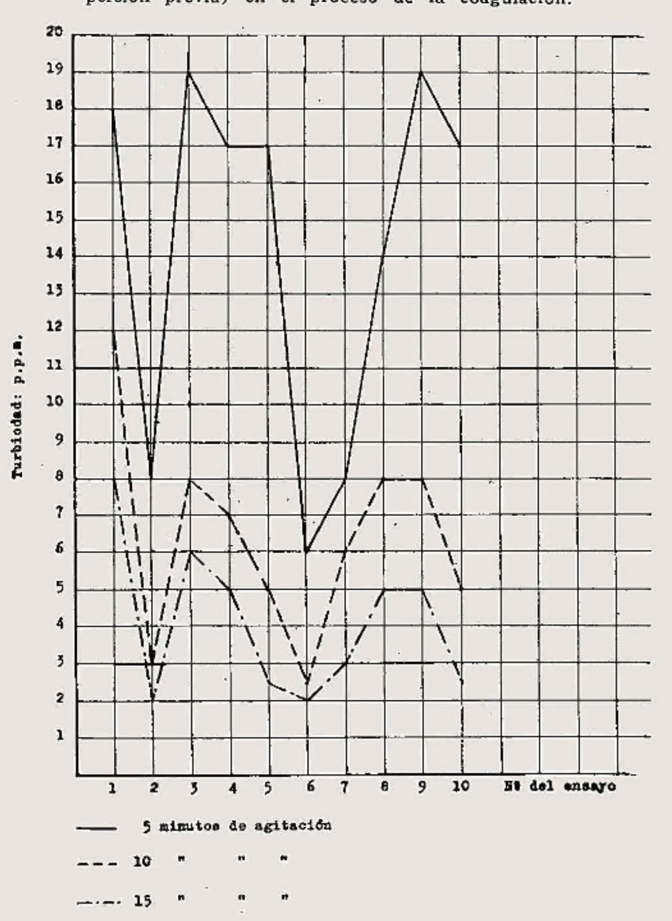
Igualmente teníamos la presunción de que el "coágulo" se rompía con suma facilidad, ya fuera por una agitación violenta o por una agitación mal llevada, y que luego no se recomponía, hecho que, como veremos, no puede demostrarse que sea exacto, al menos para nuestra agua.

Por otra parte, se ha fijado para el agua del Río de la Plata un pH óptimo de coagulante que oscila entre 6 y 6,3 y veremos que con la coagulación fraccionada, es posible que aquel pH se eleve ligeramente.

Explicamos a continuación, en forma detallada, las experiencias realizadas, esperando completarlas con algunas otras determinaciones, como influencia de la temperatura, etc., en otra publicación.

Gráfico Nº 2

Influencia del tiempo de agitación (floculación) (sin dispersión previa) en el proceso de la coagulación.



Material Utilizado

Aparato difusor: El aparato difusor utilizado es el mismo que está representado en el Boletín de O. S. N., año II, Nº 10 (1938) abril, pág. 398. El número de revoluciones de este difusor puede

CUADRO Nº 3

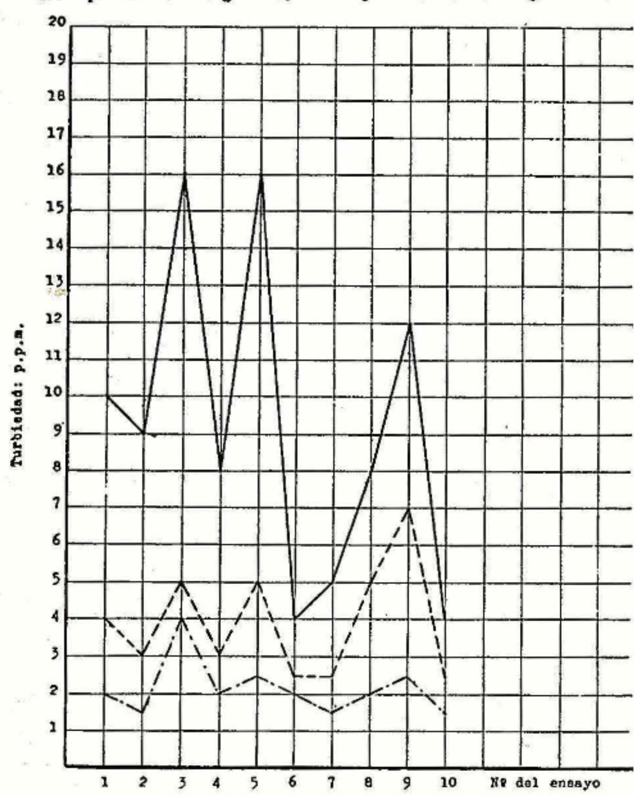
Influencia del tiempo de agitación (floculación) (con dispersión previa) en el proceso de la coagulación

(Dispersión: 5 segundos).

AGUA NATURAL				AGUA TRATADA				
Número del ensayo	Alcalinidad en carbonato de calcio p.p.m.	pH	Turbiedad (Jackson) p.p.m.	Dosis de sulfato de aluminio p.p.m.	Tiempo de agitación 5'	10'	15'	pH
					Turbiedades p.p.m. (Método standard)			
1	45	7,6	48	20	10	4	2	6,9
2	47	7,7	54	25	9	3	1,5	6,9
3	49	7,6	42	20	16	5	4	7
4	44	7,5	50	25	8	3	2	6,8
5	45	7,6	60	25	16	5	2,5	6,9
6	46	7,4	53	30	4	2,5	2	6,8
7	75	7,7	77	60	5	2,5	1,5	6,6
8	86	7,8	70	70	8	5	2	6,6
9	99	7,9	88	85	12	7	2,5	6,7
10	38	7,3	98	20	4	2,5	1,5	6,8

Gráfico Nº 3

Influencia del tiempo de agitación (floculación) (con dispersión previa de 5 segundos) en el proceso de la coagulación.



variarse de 180 a 250 r.p.m. La paleta agitadora, de forma rectangular, está aplicada al eje en el sentido de su dimensión mayor y tiene las siguientes medidas: largo = 90 mm.; ancho = 30 mm. En todos estos ensayos se dispersó con 250 r.p.m.

Aparato agitador: (Floculador): También ilustrado en el mismo número del Boletín, pág. 395, consta de seis ejes verticales con sendas paletas transversales de 90 mm. de largo por 20 mm. de ancho. Las velocidades son variables desde 10 a 100 r.p.m. En estos ensayos se utilizaron 70 r.p.m.

Recipientes: Son vasos de precipitación de 1 litro de capacidad (12,2 cm. de alto y 10 cm. de diámetro).

Reactivos: Solución al 1 % de sulfato de aluminio de 18 % de óxido. Solución al 1 % de caparrosa clorada.

Turbidímetros: Para turbiedades mayores de 25 p.p.m. se utilizó el turbidímetro de Jackson. Las turbiedades menores de 25 se determinaron por comparación con suspensiones tipo de sílice, en frascos de vidrio incoloro, siguiendo las indicaciones dadas por los métodos "standards" americanos.

Modo Operatorio

Los ensayos se han efectuado sobre muestras homogéneas de agua natural del Río de la Plata, a la cual se le determinaba previamente la alcalinidad, el pH y la turbiedad. Estos ensayos se realizaron en vasos de precipitación, en los que se colocaba un litro de agua y se agregaba el coagulante, sometiéndolo luego a distintos procesos indicados en cada experiencia. El agua así tratada se dejaba sedimentar en los mismos vasos, separando por decantación 500 m.l. para determinar la turbiedad.

Como estos ensayos eran comparativos, no se ha tenido en cuenta el factor temperatura, que será objeto de un estudio posterior.

CUADRO Nº 4

Influencia del tiempo de agitación (floculación) (con dispersión previa) en el proceso de la coagulación

(Dispersión: 10 segundos).

AGUA NATURAL				AGUA TRATADA				
Número del ensayo	Alcalinidad en carbonato de calcio p.p.m.	pH	Turbiedad (Jackson) p.p.m.	Dosis de sulfato de aluminio p.p.m.	Tiempo de agitación 5'	10'	15'	pH
					Turbiedades p.p.m. (Método standard)			
1	45	7,6	48	20	7	4	2	6,9
2	47	7,7	54	25	7	2,5	1	6,9
3	49	7,6	42	20	14	7	5	7
4	44	7,5	50	25	5	2,5	2	6,8
5	45	7,6	60	25	7	2,5	2	6,9
6	46	7,4	53	30	2,5	2	1,5	6,8
7	75	7,7	77	60	4	2,5	1	6,6
8	86	7,8	70	70	8	4	1,5	6,6
9	99	7,9	88	85	10	5	2	6,7
10	38	7,3	98	20	2,5	2	1,5	6,8

En estos ensayos se determinó pH y turbiedad al agua tratada. La turbiedad se valoraba después de 30 minutos de decantación en los vasos.

Con el objeto de hacer resaltar más la diferencia obtenida con los distintos tiempos de agitación, la dosis de coagulante se redujo de modo que el agua agitada 10 minutos presentase una turbiedad aceptable, obteniéndose un agua más turbia con 5 minutos y menos con 15 minutos (Cuadro y gráficos Nº 2).

Como vemos en el cuadro y gráfico citados, las turbiedades van disminuyendo a medida que aumenta el tiempo de agitación, siendo posible obtener, agitando 15 minutos, aguas de turbiedad baja, a pesar de que el pH se mantiene entre 6,6 y 7.

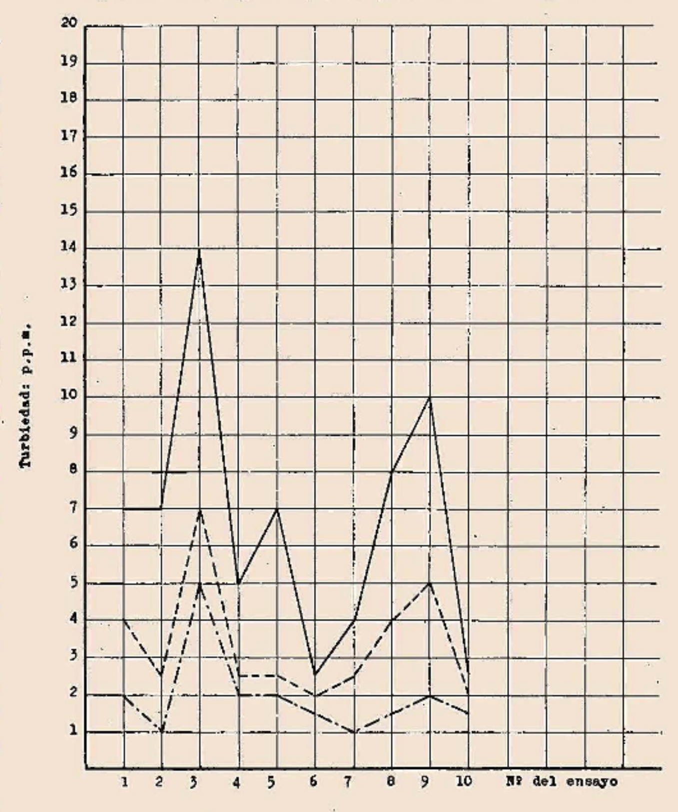
En estos ensayos, la alcalinidad ha variado entre 38 y 99 p.p.m. esta última una de las mayores registradas.

Examinando las turbiedades (cuadro y gráfico Nº 3) se observa que las diferencias entre las aguas agitadas 5, 10 y 15 minutos respectivamente, no son tan acentuadas como en el caso anterior, sin dispersión. Más adelante se comparan las turbiedades de las aguas en los ensayos realizados variando el tiempo de dispersión.

Comparando los datos del cuadro y gráfico Nº 3 con los del cuadro y gráfico Nº 4, podemos decir, que una dispersión de 10 segundos influye más que una de 5 segundos, en el caso de que la agitación sea de 5 minutos. Para agitaciones de 10 y 15 minutos, las diferencias son menores y en algunos ensayos el aumento en el tiempo de dispersión no ha sido favorable.

Gráfico Nº 4

Influencia del tiempo de agitación (floculación) (con dispersión previa de 10 segundos) en el proceso de la coagulación.



Como en el caso anterior con 10 segundos de dispersión, se ve que un aumento en el tiempo de ésta es a veces contraproducente, no obteniéndose ventajas que permitan aconsejar una dispersión mayor (ver cuadro y gráfico Nº 5) de 10 segundos,

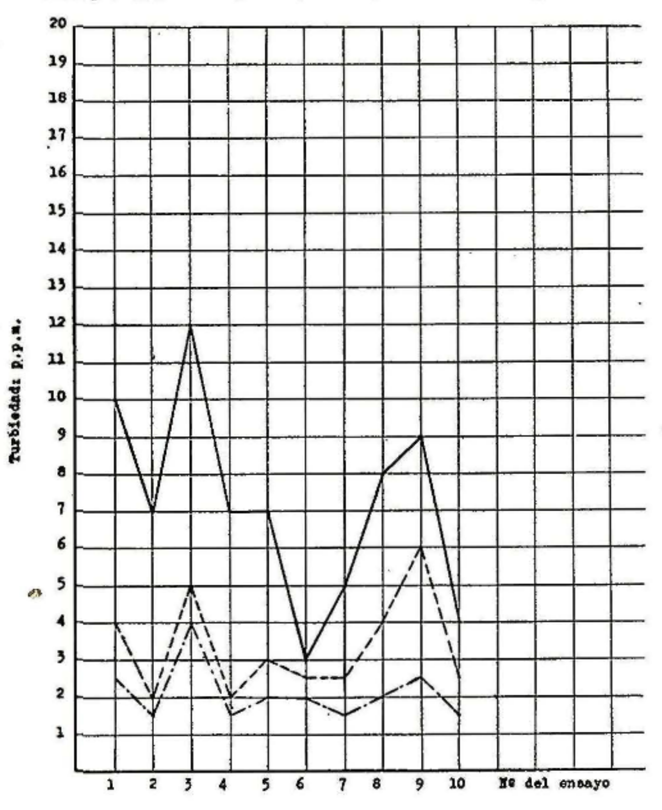
CUADRO Nº 5

Influencia del tiempo de agitación (floculación) (con dispersión previa) en el proceso de la coagulación (Dispersión: 20 segundos).

AGUA NATURAL				AGUA TRATADA				
Número del ensayo	Alcalinidad en carbonato de calcio p.p.m.	pH	Turbiedad (Jackson) p.p.m.	Dosis de sulfato de aluminio p.p.m.	Tiempo de agitación 5'	10'	15'	pH
					Turbiedades p.p.m. (Método standard)			
1	45	7,6	48	20	10	4	2,5	6,9
2	47	7,7	54	25	7	2	1,5	6,9
3	49	7,6	42	20	12	5	4	7
4	44	7,5	50	25	7	2	1,5	6,8
5	45	7,6	60	25	7	3	2	6,9
6	46	7,4	53	30	3	2,5	2	6,8
7	75	7,7	77	60	5	2,5	1,5	6,6
8	86	7,8	70	70	8	4	2	6,6
9	99	7,9	88	85	9	6	2,5	6,7
10	38	7,3	98	20	4	2,5	1,5	6,8

Gráfico Nº 5

Influencia del tiempo de agitación (floculación) (con dispersión previa de 20 segundos) en el proceso de la coagulación.



que por otra parte, creemos que es más difícil de efectuar en escala natural.

Para poder apreciar mejor la influencia de la dispersión, hemos dispuesto los datos obtenidos en todos estos ensayos, en un cuadro para cada tiempo de agitación. (Véase cuadros números 6, 7 y 8).

CUADRO N: 6

Con 5 minutos de agitación

Ensayo Nº	Tiempos de dispersión 0"	5"	10"	20"
	Turbiedades (p.p.m.)			
1	17	10	7	10
2	8	9	7	8
3	19	16	15	15
4	16	8	5	8
5	16	16	7	8
6	6	4	2,5	3
7	8	5	4	5
8	14	8	8	8
9	19	11	10	9
10	16	4	2,5	4

CUADRO Nº 7

Con 10 minutos de agitación

Ensayo Nº	Tiempos de dispersión 0"	5"	10"	20"
	Turbiedades (p.p.m.)			
1	12	4	4	4
2	3	3	2,5	2
3	8	5	7	5
4	7	3	2,5	2
5	5	5	2,5	3
6	2,5	2,5	2	2,5
7	6	2,5	2,5	2,5
8	8	5	4	4
9	9	7	5	6
10	5	2,5	2	2,5

CUADRO Nº 8

Con 15 minutos de agitación

Ensayo Nº	Tiempos de dispersión 0"	5"	10"	20"
	Turbiedades (p.p.m.)			
1	8	2	2	2,5
2	2	1,5	1	1,5
3	6	4	5	4
4	5	2	2	1,5
5	2,5	2,5	2	2
6	2	2	1,5	2
7	3	1,5	1	1,5
8	5	2	1,5	2
9	5	2,5	2	2,5
10	2,5	1,5	1,5	1,5

Experiencias en que se demuestra que el coágulo se "rompe" parcialmente con una agitación violenta, pero que puede recomponerse facilmente por agitación

Hasta ahora teníamos la creencia, compartida por observadores extranjeros, de que el coágulo formado al tratar un agua por un agente coagulante, si se lo sometía a un tratamiento físico que pudiera desintegrarlo, no se podía recomponer, pero al efectuar las experiencias sobre la coagulación fraccionada, de la cual trataremos más adelante, pudimos comprobar que el coágulo en el agua del Río de la Plata se rehace fácilmente por una agitación posterior moderada.

Para esto, tratamos una muestra de agua natural, con una dosis suficiente de sulfato de aluminio, con objeto de obtener un buen coágulo, difundiendo durante 10 segundos, seguido de 5 minutos de agitación; otra muestra, sometida al mismo procedimiento químico y físico, se agitó después violentamente durante 20 segundos con objeto de romper el coágulo formado; y por fin, una tercera muestra tratada igual que la anterior se agitó posteriormente durante 5 minutos a efectos de obtener la recomposición del coágulo, lo que en efecto sucedió, y de lo cual da cuenta el cuadro que sigue. Las turbiedades fueron determinadas después de media hora de decantación.

	TRATAMIENTO Sin romper el "floc"	Después de romper el "floc"	"Floc" recompuesto
	Turbiedades		
1	7	9	1,5
2	3	14	3
3	6	12	2,5

Coagulación fraccionada

Hemos llamado coagulación fraccionada (véase Boletín de las Obras Sanitarias de la Nación, Nº 10, año II (1938), al agregado de la dosis de coagulante en dos fracciones, dejando un intervalo de tiempo entre el agregado de cada fracción, ya sea utilizando un solo coagulante o dos distintos; por ejemplo: sulfato de aluminio más sulfato de aluminio, o bien sulfato de aluminio y cloruro férrico o caparrosa clorada.

Como lo hiciéramos notar en dicho artículo, no debe confundirse la coagulación fraccionada, con el conocido por el de la "doble coagulación", y que consiste, transcribiendo un párrafo (loc. cit.), en "agregar el sulfato de aluminio fraccionando "la dosis total de coagulante necesaria, en dos: "la primera fracción era del 60 al 75 % de la "total; luego se decantaba y en la cabecera de "un segundo decantador se añadía el resto de la "dosis. Posteriormente la "doble coagulación" "abarcó también el procedimiento que emplea el "sulfato de aluminio y aluminato de sodio, suprimiendo la doble decantación y agregando prime- "ro el aluminato en proporciones determinadas, "seguido del sulfato de aluminio con un brevísi- "mo intervalo de tiempo entre cada agregado".

Por lo difícil que resulta documentarse debidamente en el país, sobre temas de esta índole, y especialmente cerciorarse si estos son inéditos nos pusimos en comunicación epistolar con algunas de las autoridades que sobre el particular trabajan en EE. UU., entre ellos el profesor H. E. Babbitt, de la Universidad de Illinois, Urbana; el profesor Charles Gilman Hyde, de la Universidad de California, Berkeley; y el Doctor John R. Baylis, físico-químico del Depart. de Trabajos Públicos de Chicago, los cuales dando pruebas de la más fina gentileza y atención, respondieron a nuestras consultas, lo que les agradecemos infinitamente.

De las contestaciones recibidas transcribimos los párrafos que creemos más interesantes:

Del profesor H. E. Babbitt:

"I have read the most interesting manuscript on "The Trelles Coagulation" by Bengolea and Poccard, and am much impressed by the new ideas suggested there. I agree with the authors when they state that an extensive study of the literatura will no reveal fractional coagulation with alum and iron.

"If there is a student interested in this subject when the University reopens next september. I will be most happy to pursue some studies along the line suggested by the researches of the authors, and to correspond with you concerning the results. You are probably acquainted with the fact thatour universities close during the months of june, july and august".

La traducción de lo anteriormente escrito es la siguiente:

"He leído el artículo sumamente interesante acerca de la "Coagulación Trelles", por Bengolea y Poccard,

y estoy muy impresionado por las nuevas ideas que en él se sugieren. Estoy de acuerdo con los autores, al manifestar que un amplio estudio de la bibliografía existente no revelará la coagulación fraccionada con sulfato de aluminio y hierro.

"Si hubiese algún estudiante interesado en este tema, cuando se reabra la Universidad en el próximo mes de septiembre, tendré sumo placer en realizar algunos estudios basados en las sugestiones relacionadas con las investigaciones de los autores, y ponerme en comunicación con Vd. respecto a los resultados. Supongo que Vd. estará al tanto del hecho que nuestras Universidades cierran durante los meses de junio, julio y agosto".

Del profesor Ch. Gilman Hyde:

"I have been studying your method with profound interest. It seems to me that you have developped a most valuable and effective method of coagulation of water. I believe that it can be applied to sewage as well. The clarification which you have accomplished with River Plate water is truly remarkable".

"Your method is so interesting to me that I am proposing to apply it experimentally to the clarification of San Francisco Sewage. I also want one of our Sanitary Engineering students at the University of California to study your method in its application to turbid water.

I "know that a paper by you on this subject would be of great interest to the members of the American Water Works Association and I shall hope that at some time in the near future you may be willing to prepare such a discussion".

Su traducción es la siguiente:

"He estudiado su método con profundo interés. Tengo la impresión de que ha creado Vd. un método de los más valiosos y eficaces de coagulación de agua. Creo que puede aplicarse idénticamente al líquido cloacal. La clarificación que ha logrado Vd. con agua del Río de la Plata es realmente notable.

"Su método me resulta tan interesante que he propuesto aplicarlo, con carácter experimental, para la depuración del líquido cloacal de San Francisco de California. Es también mi deseo que uno de nuestros estudiantes de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de California estudie su método en su aplicación al agua turbia.

"Sé que un trabajo de Vd. acerca de este tema, sería de gran interés para los miembros de la American Water Works Association, y preveo que en otra oportunidad de un futuro próximo no tendrá Vd. inconveniente en preparar un artículo".

Del profesor John R. Baylis:

"I wish to thank your for the translation of the article by Drs. Bengolea and Poccard on the "Trelles coagulation". I have read the article carefully, and I am very interested in the results. So far, we have not tried this method of treatment on the Lake Michigan water, because we wish to complete firts certain experiments under way. I have use mixtures of iron and alum on previous occasions, but not in the exact manner described... "I should like to commend Drs. Bengolea and Poccard for the excellent work they are doing. This is a good illustration of the fact that one cannot predict the best treatment of a cetain water, and that the thing to do is to try every conceivable kind of treatment. Quite often something works which we predict will not work before trying it. My prediction would have been that no advantage would be gained by using alum and iron in such a manner".

Traducido, dice así:

"Deseo expresarle mi agradecimiento por la traducción del artículo de que son autores los doctores Bengolea y Poccard, acerca de la "Coagulación Trelles". He leído cuidadosamente el artículo, y estoy sumamente interesado en sus resultados. Hasta este momento no hemos ensayado este método de tratamiento con el agua del lago Michigán, porque deseamos terminar antes algunos experimentos en curso. He empleado mezclas de hierro y sulfato de aluminio en ocasiones anteriores, pero no exactamente en la forma descripta... ...Tengo que encomiar la excelente labor que están realizando los doctores Bengolea y Poccard. Esta es una buena demostración del hecho de que uno no puede predecir el mejor tratamiento de un agua determinada, y que lo que debe hacerse es ensayar cada tipo concebible de tratamiento. Ocurre con mucha frecuencia que una cosa arroja buenos resultados después de haber pronosticado, antes del ensayo, que no daría ningún resultado. Mi predicción habría sido que no se lograría ninguna ventaja empleando sulfato de aluminio y hierro en esa forma".

En la coagulación fraccionada, el fraccionamiento de la dosis es necesario establecerlo por ensayos previos, para cada tipo de agua.

Para el agua del Río de la Plata, las fracciones que dieron mejores resultados fueron las de 2/3 primero y luego el 1/3 restante, de la dosis total; dejando un intervalo de un minuto y medio, aproximadamente, entre cada agregado. Para más detalles véase el artículo publicado.

Como en ese trabajo se relacionaba la influencia de la dispersión del coagulante, en la coagulación fraccionada, se resolvió ensayar esta dispersión sin utilizar el fraccionamiento y comparar los datos obtenidos con los que daban la coagulación fraccionada. Los ensayos se hicieron en la siguiente forma:

Dosis sin fraccionar.

a) Sin dispersión y con 6 minutos de agitación (floculación).
b) 10 segundos de dispersión y 5 minutos de agitación con 1 minuto de intervalo entre ambas operaciones.
c) 5 segundos de dispersión, 1 minuto de intervalo y 5 segundos más de dispersión, seguidos de 5 minutos de agitación (dispersión fraccionada).

Dosis fraccionada.

d) 1ª fracción de la dosis, 5 segundos de dispersión, 1 minuto de intervalo. 2ª fracción de la dosis, 5 minutos de dispersión y 5 minutos de agitación.
e) Igual al anterior, pero la segunda fracción de la dosis con caparrosa clorada.

CUADRO Nº 9

AGUA NATURAL				PROCEDIMIENTO DE PURIFICACION						pH.	
Nº. del Ensayo	Alcalinidad en carbonato de calcio p. p. m.	pH.	Turbiedad (Jackson) p. p. m.	Dosis de coagulante p. p. m.	Turbiedades (Método standard) (1)	(2)	(3)	(4)	(5)	S. A.	S. A. + C. C.
1	49	7,5	48	35 40 45	— 12 4	3 3 2,5	4 3 2,5	6 2,5 2,5	6 2,5 2	6,6 6,5 6,4	6,4 6,3 6,3
2	54	7,5	56	30 35 40	6 2,5 2	2,5 2 2	2,5 2,5 2	6 2 1,5	7 2 1,5	6,6 6,5 6,4	6,6 6,5 6,4
3	50	7,7	48	35 40 45	6 5 4	5 4 2,5	5 3 2,5	4 2,5 2	7 6 2	6,7 6,6 6,5	6,7 6,6 6,5
4	54	7,9	57	40 45 50	12 10 4	4 3 3	3 3 2,5	2,5 2 1,5	2 2 1,5	6,6 6,5 6,4	6,5 6,4 6,3
5	75	7,7	77	65 70 75	12 9 7	3 3 3	4 3 3	5 3 2,5	4 3 2,5	6,5 6,5 6,4	6,5 6,4 6,4
6	72	7,8	105	65 70 75	12 5 3	2,5 2,5 2,5	3 2,5 2,5	3 2,5 2	2,5 2 2	6,6 6,5 6,4	6,5 6,4 6,3
7	76	7,6	70	75 80 85	— — 9	8 6 5	5 4 3	4 3 2,5	6 4 2,5	6,6 6,5 6,4	6,5 6,4 6,3
	86	7,8	70	70 75 80	— — 4	8 2,5 2,5	3 3 2,5	3 2,5 2,5	4 2,5 3	6,6 6,5 6,4	6,5 6,4 6,4
9	69	7,4	67	45 50 55	— 7 3	4 3 3	5 3 3	6 3 2,5	6 4 3	6,7 6,6 6,5	6,6 6,5 6,4
10	62	7,6	55	40 45 50	8 4 4	6 4 3	6 5 4	6 4 3	— 6 3	6,8 6,7 6,6	6,8 6,8 6,7
11	54	7,7	70	45 50 55	— 8 7	4 3 3	4 3 3	3 2,5 2,5	12 5 3	6,7 6,6 6,5	6,7 6,7 6,6
12	55	7,8	77	40 45 50	12 8 5	8 4 4	7 4 4	6 4 3	8 6 3	6,6 6,5 6,4	6,7 6,6 6,5
13	44	7,6	87	30 35 40	9 7 6	5 4 3	6 4 3	7 5 3	12 3 2,5	6,7 6,6 6,5	6,8 6,7 6,6
14	85	7,8	100	80 85 90	12 9 7	10 8 5	8 7 5	5 4 4	5 3 3	6,6 6,5 6,4	6,4 6,3 6,3
15	50	7,6	85	35 40 45	8 7 5	7 6 4	7 5 4	7 5 3	7 4 2,5	6,8 6,6 6,5	6,8 6,7 6,6
16	99	7,9	88	90 95 100	10 9 8	9 9 7	9 8 6	6 4 4	7 7 5	6,6 6,5 6,5	6,6 6,5 6,5
17	56	7,8	75	40 45 50	— 7 7	8 5 5	5 4 4	5 4 3	8 3 3	6,7 6,6 6,5	6,6 6,5 6,4
18	52	7,8	85	35 40 45	6 4 4	8 5 4	5 4 3	7 4 2,5	8 3 2,5	6,7 6,6 6,5	6,6 6,5 6,4
19	53	7,8	65	35 40 45	10 8 6	8 6 4	12 8 7	9 7 3	— 8 3	6,7 6,6 6,5	6,7 6,6 6,5
20	53	7,7	70	40 45 50	8 7 4	4 3 3	4 3 3	5 3 2,5	4 3 2,5	6,7 6,7 6,5	6,7 6,6 6,5

(1) S. A. = Sulfato de aluminio; agitación 6 minutos
(2) S. A. = » » » ; dispersión 10 segundos, agitación 5 minutos
(3) S. A. = » » » ; » 5 + 5 » » 5 »
(4) S. A. + S. A. = » » » ; » 5 + 5 » » 5 »
(5) S, A. + C. C. = « » » ; más caparrosa clorada; dispersión 5 + 5 segundos; agitación 5 minutos.

En los ensayos sin dispersión se agitaba 6 minutos en vez de 5 para compensar el minuto de intervado que se dejaba en los otros.

También se decidió determinar la turbiedad a los 10 minutos de cesar la agitación, único medio de que se disponía para poder apreciar con cierta exactitud las diferencias existentes en la *velocidad de asentamiento* del coágulo.

Aunque parezca muy escaso el tiempo de decantación de 10 minutos, no hay que olvidar la diferencia que existe entre el asentamiento en vasos y en los decantadores (Baylis). Por otra parte, es siempre preferible obtener un coágulo grande y denso.

Para determinar la turbiedad se extraían también 500 m.l. de agua de cada vaso, o sea la mitad del agua empleada en el ensayo.

Las determinaciones efectuadas son las siguientes:

Agua natural: Turbiedad (Jackson).
Alcalinidad.
pH.

Aguas tratadas: Turbiedad (Método standard).
pH.

Comparando en forma sucesiva las turbiedades de los veinte ensayos realizados (véase cuadro Nº 9) con tres dosis distintas de coagulante cada uno, o sean sesenta determinaciones de turbiedad, es decir, comparando la turbiedad del agua tratada con sulfato de aluminio, sin dispersar, con la dispersada 10 segundos; y ésta con la dispersada cinco mas cinco segundos, etc.; o en otras palabras, comparando los procedimientos de purificación Nº 1, con el 2; el 2 con el 3; el 3 con el 4 y el 4 con el 5, se deduce que:

1º) La dispersión influye notablemente sobre la coagulación dando el 88,4 % de las veces menor turbiedad, 6,6 % igual y sólo 5 % mayor, el dispersado 10 segundos que el no dispersado.

2º) La dispersión dividida en dos etapas de cinco mas cinco segundos, con un intervalo de un minuto entre cada dispersión, en vez de 10 segundos en una sola vez, da el 31,7 % de las veces menor turbiedad, 50 % igual y 18,3 % mayor que las correspondientes sin dividir la dispersión.

3º) A su vez la coagulación fraccionada da turbiedades menores en el 60 % de las veces, 26,7 iguales y 13,3 % mayores que la anterior o sea con la dosis completa y dispersión dividida.

4º) Comparando las turbiedades de los ensayos con dispersión, cinco mas cinco segundos, con los correspondientes a la coagulación fraccionada con sulfato de aluminio más caparrosa clorada, obtendremos que el 53,3 % de las veces, la turbiedad es menor, 15 % igual y 31,7 % mayor.

Vemos pues que existe una mejora gradual de la coagulación al pasar por los distintos procesos de agitación sola, con dispersión, con dispersión dividida en dos etapas y con el fraccionamiento de la dosis.

También se puede señalar que en estos ensayos, los pH han sido más elevados que el óptimo determinado para el agua del Río de la Plata (6,2 - 6,3), debido a la reducción de las dosis de coagulante, y sin embargo se ha conseguido turbiedades tan bajas como las que se obtienen con dosis mucho más elevadas. Este aumento del pH significa una economía de cal apreciable en el proceso de la alcalinización final del agua de consumo.

Estos ensayos efectuados con el agua del Río de la Plata, empleando dosis menores de coagulante que las usuales, ya que el objeto principal de estos estudios era disminuir el gasto de este producto, sin dejar por esto de obtener un agua decantada de buena calidad, permiten deducir las conclusiones siguientes:

a) Que la agitación (floculación) ayuda en forma evidente a la formación del coágulo, aumentando éste de tamaño a medida que el tiempo de agitación crece (se ha llegado sólo hasta 15 minutos de floculación por no creerse práctico ni económico prolongarlo más).

b) La dispersión del coagulante, inmediata a la inyección, mejora notablemente la coagulación, permitiendo reducir los tiempos de agitación (floculación).

c) El mismo tiempo de dispersión, pero dividido en dos etapas, en algunos casos es más beneficioso que la dispersión simple, pero en otros da resultados peores.

d) El fraccionamiento de la dosis de coagulante, conjuntamente con la dispersión dividida, produce en la mayoría de los casos un coágulo de características excelentes, con lo que se favorecería en forma apreciable el proceso de la decantación.

e) La utilización de la caparrosa clorada en la segunda fracción de la dosis, da resultados análogos a los obtenidos con el sulfato de aluminio fraccionado, pero se ha podido notar que en algunos ensayos, el coágulo decantaba más rápidamente, hecho característico del "floc" de hierro.

---

* (Este trabajo se realizó en el Laboratorio del Distrito Establecimiento Aguas de Palermo y colaboraron eficazmente en el mismo los ayudantes químicos dosificadores).